



**KAVŞAK TASARIMLARININ KARAR
VERME TEKNİKLERİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kadir Diler ALEMDAR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet TORTUM
2019**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAVŞAK TASARIMLARININ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kadir Diler ALEMDAR

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Ulaştırma Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

KAVŞAK TASARIMLARININ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Ahmet TORTUM danışmanlığında, Kadir Diler ALEMDAR tarafından hazırlanan bu çalışma, 26/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** / oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet TORTUM

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin ÇODUR

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **01.08/2019** tarih ve **...31.../...73....** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAVŞAK TASARIMLARININ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadir Diler ALEMDAR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TORTUM

Son yıllarda nüfus yoğunluğunun ve hareketliliğin artmasıyla birlikte trafiğe çıkan motorlu taşıt sayısında da önemli bir artış meydana gelmiştir. Trafikte bulunan taşıt sayısının artması trafik akışında düşük hız, tıkanma, gecikme gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Kent içinde bu problemlerin en yoğun yaşandığı bölgeler kavşak noktaları olarak dikkat çekmektedir. Trafik problemlerine çözüm üretmek için ilk olarak ele alınması gereken kavşak noktalarının, yüksek kapasiteli ve yüksek güvenilirlikli olması gerekmektedir. Bu gereksinimin karşılanması için kavşak noktaları son derece elverişli ve standartlara uygun tasarlanmalıdır. Kavşak noktaları tasarlanırken hem geometrik durumlar hem de sinyalizasyon kontrol türleri dikkate alınmalıdır. Bu iki yönetim şekli ile İstanbul İli, Fatih İlçesi, Vatan Caddesi koridoru üzerinde bulunan 3 kavşak noktası ele alınarak çeşitli kavşak tasarımları yapılmıştır. Taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu, durma gecikmesi, duraklama sayısı, seyahat süresi, taşıt güvenliği, karbon monoksit (CO) emisyon değeri, yakıt tüketimi ve kavşak yapım maliyeti gibi karşılaştırma parametreleri dikkate alınarak toplamda 30 farklı koridor tasarımı PTV VISSIM mikro simülasyon programı ile yapılmıştır. Kullanılan karşılaştırma parametrelerinin ağırlıklarının hesaplanması için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Yapılan tasarımların kullanılabilirliği GEH kalibrasyonu testi ile analiz edilmiştir ve 18 alternatif koridor tasarımı karşılaştırma için kullanılmıştır. Bu tasarımların mikro simülasyon programından elde edilen performans değerleri ile karşılaştırma parametrelerine göre sıralandırma işlemi Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi ile yapılmıştır. Sıralama işlemi sonucunda 16 No'lu koridor tasarımı en iyi sonucu vermiştir. Mevcut koridor ile 16 No'lu alternatif koridor, karşılaştırma parametrelerine göre karşılaştırılmıştır ve en az %8,7 ve en fazla %63,7 oranında iyileştirme olduğu gözlemlenmiştir.

2019, 108 sayfa

Anahtar Kelimeler: Koridor, Kavşak, AHP, VISSIM, TOPSIS, İstanbul

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF INTERSECTION DESIGNS WITH DECISION MAKING TECHNIQUES

Kadir Diler ALEMDAR

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Transportation Department

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet TORTUM

With the increase population density and mobility in recent years, significant increase in number of motor vehicles in traffic have been. The increase in the number of vehicles in traffic brings about problems such as low speed, congestion and delay in traffic flow. The regions where these problems are most intense in the city stand out as intersections. In order to produce solutions to traffic problems, the intersection that should be dealt with firstly where should be high capacity and high traffic safety. To meet this requirement, the intersections must be designed to be extremely convenient and in accordance with standards. Both geometric conditions and signaling control types should be considered when designing intersections. With these two forms of management, various intersection designs have been made on 3 intersections on the corridor of Vatan Street in Fatih District of Istanbul. Considering the comparison parameters such as vehicle delay, queue length, stopped delay, stops, travel time, traffic safety, carbon monoxide (CO) emission values, fuel consumption and intersection construction cost, a total of 30 different corridor designs were made with PTV VISSIM micro simulation program. Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to calculate the weights of the comparison parameters. The usability of the designs was analyzed by GEH calibration test and 18 alternative corridor designs were used for comparison. The performance values obtained from the micro simulation program of these designs were compared with Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method according to the comparison parameters. As a result of the ranking process, the corridor design numbered 16 is the best alternative. The current corridor and alternative corridor No. 16 were compared according to the comparison parameters and it was observed that there was an improvement of at least 8.7% and at most 63.7%.

2019, 108 pages

Keywords: Corridor, Intersection, AHP, VISSIM, TOPSIS, Istanbul

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet TORTUM'a,

Tez s¼reci boyunca yardımları ve önerileri ile tez çalıőmama katkıda bulunan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin ODUR'a,

T¼m hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen baőta annem Gön¼l ALEMDAR olmak üzere t¼m aileme, sevdiklerime ve arkadaşlarıma,

Ayrıca lisans d¼nemimden beri sevgi, saygı, sabır ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kardeőim değerli yol arkadaşım Arő. Gör. Ömer KAYA'ya sonsuz teőekk¼r ederim.

Kadir Diler ALEMDAR

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kavşaklar.....	2
1.1.1. Kavşak tasarım ilkeleri.....	2
1.2. Kullanıcı Özellikleri.....	8
1.2.1. İnsan faktörü.....	8
1.2.2. Taşıt özellikleri.....	9
1.2.3. Çevre faktörü.....	10
1.3. Kavşağın İşletim Özellikleri.....	10
1.4. Kavşakların Genel Özellikleri.....	11
1.5. Kavşak Tipleri	12
1.5.1. Hemzemin (eşdüzey) kavşaklar.....	12
1.5.2. Farklı düzey kavşaklar.....	21
1.6. Kavşaklarda Sinyalizasyon.....	32
2. KAYNAK ÖZETLERİ	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	51
3.1. Trafik Simülasyon	51
3.1.1. PTV Vissim mikro simülasyon programı.....	52
3.2. Webster Sinyalizasyon Yöntemi	53
3.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	54
3.4. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	63
4.1. Çalışma Alanı	63
4.2. Değerlendirme Kriterleri	64

4.3. Verilerin Toplanması.....	66
4.4. AHP Uygulaması.....	70
4.5. Vissim Tasarımı	72
4.5.1. Vissim simülasyon sonuçları.....	86
4.6. TOPSIS Uygulaması	96
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	109



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANFIS	Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems
ANP	Analitik Ağ Süreci
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
HCM	Highway Capacity Manual
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
NİÇ	Negatif ideal çözüm
PİÇ	Pozitif ideal çözüm
SSM	Sinyal Simülasyon Modeli
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
YAKA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafığı

Simgeler

a'_{ij}	Normalizasyon değeri
d_i	Öncelik vektörü
w_i	Ağırlık indisi
λ_{max}	Özdeğer
A^-	Negatif ideal çözüm
A^*	Pozitif ideal çözüm
C_i^-	Negatif ideal çözüme yakınlık
C_i^*	Pozitif ideal çözüme yakınlık

C_o	Döngü süresi
D_{ij}	Karar matrisi
L	Kayıp zamanı
R_{ij}	Standart karar matrisi
r_{ij}	Vektör normalizasyonu
S_i^-	Negatif ideal ayırım
S_i^*	Pozitif ideal ayırım
V_{ij}	Ağırlıklı standart karar matrisi
RI	Random indeksi
TI	Tutarlılık indeksi
TO	Tutarlılık oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Eşdüzey kavşak tipleri	15
Şekil 1.2. Eşdüzey kavşaktaki ayrılma hareketi.....	16
Şekil 1.3. Kavşaktaki kesişme hareketi.....	16
Şekil 1.4. Eşdüzey kavşaktaki katılma hareketi.....	16
Şekil 1.5. Eşdüzey kavşaktaki örülme hareketi	17
Şekil 1.6. Sinyalize olmayan kavşaklarda çakışma noktaları	17
Şekil 1.7. Eşdüzey sinyalize kavşaklarda çakışma noktaları	18
Şekil 1.8. Kavşak noktaların yaya ve taşıt çakışma noktaları.....	18
Şekil 1.9. Denetimsiz eşdüzey kavşak ve dönel kavşak çakışma noktaları.....	20
Şekil 1.10. Dönel kavşak geometrik elemanları	20
Şekil 1.11. Farklı düzey kavşak tipi seçim diyagramı	25
Şekil 1.12. Farklı düzey kavşak tipleri	26
Şekil 1.13. Trompet kavşak tipi	27
Şekil 1.14. Yarım yonca kavşak tipi	28
Şekil 1.15. Direksiyonel kavşak tipi	29
Şekil 1.16. Diamond kavşak tipi.....	30
Şekil 1.17. Yonca kavşak tipi	32
Şekil 1.18. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi.....	36
Şekil 3.1. AHP hiyerarşik yapısı.....	55
Şekil 4.1. Vatan Caddesi koridoru	63
Şekil 4.2. 1 Numaralı kavşak trafik akımları	67
Şekil 4.3. 2 Numaralı kavşak trafik akımları	67
Şekil 4.4. 3 Numaralı kavşak trafik akımları	68
Şekil 4.5. Vatan Caddesi koridoru 1 Numaralı kavşak.....	72
Şekil 4.6. Vatan Caddesi koridoru 2 Numaralı kavşak.....	73
Şekil 4.7. Vatan Caddesi koridoru 3 Numaralı kavşak.....	73
Şekil 4.8. Mevcut durumun koridor yol ağı tasarımı	74
Şekil 4.9. Mevcut durumun 1 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı.....	74
Şekil 4.10. Mevcut durumun 2 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı.....	75

Şekil 4.11. Mevcut durumun 3 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı.....	75
Şekil 4.12. Taşıt sayılarının Vissim programına aktarılması.....	76
Şekil 4.13. Koridor bazlı rota arama işlemi	77
Şekil 4.14. 1 Numaralı kavşak rota ataması.....	77
Şekil 4.15. 2 Numaralı kavşak rota ataması.....	77
Şekil 4.16. 3 Numaralı kavşak rota ataması.....	78
Şekil 4.17. 1 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri	78
Şekil 4.18. 2 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri	79
Şekil 4.19. 3 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri	79
Şekil 4.20. 1 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri	80
Şekil 4.21. 2 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri	80
Şekil 4.22. 3 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri	80
Şekil 4.23. 1 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı	82
Şekil 4.24. 1 Numaralı kavşak farklı düzey geometrik tasarımı.....	82
Şekil 4.25. 2 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı	83
Şekil 4.26. 2 Numaralı kavşak farklı düzey geometrik tasarımı.....	83
Şekil 4.27. 2 Numaralı kavşak modern dönel geometrik tasarımı.....	84
Şekil 4.28. 2 Numaralı kavşak adasız geometrik tasarımı	84
Şekil 4.29. 3 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı	85
Şekil 4.30. 1 Numaralı kavşak alternatif sinyalizasyon tasarımı	85
Şekil 4.31. 2 Numaralı kavşak alternatif sinyalizasyon tasarımı	86
Şekil 4.32. 3 Numaralı kavşak Webster sinyalizasyon tasarımı	86
Şekil 4.33. Taşıt gecikme değerleri	87
Şekil 4.34. Kuyruk uzunluğu değerleri	88
Şekil 4.35. Durma gecikmesi değerleri.....	89
Şekil 4.36. Duraklama sayısı değerleri	90
Şekil 4.37. Seyahat süresi değerleri	91
Şekil 4.38. Taşıt güvenliği değerleri	92
Şekil 4.39. CO emisyon değerleri	93
Şekil 4.40. Yakıt tüketimi değerleri.....	94
Şekil 4.41. Yapım maliyeti değerleri	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kavşak tasarımı için taşıt ve işletim özellikleri	9
Çizelge 1.2. Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması	13
Çizelge 3.1. Saaty skalası	56
Çizelge 4.1. 1 Numaralı - 2 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları	68
Çizelge 4.2. 2 Numaralı - 3 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları	69
Çizelge 4.3. 3 Numaralı - 2 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları	69
Çizelge 4.4. 2 Numaralı - 1 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları	69
Çizelge 4.5. İkili karşılaştırma matrisi	70
Çizelge 4.6. Normalize matrisi	71
Çizelge 4.7. Kriterlerin ağırlık, ağırlık toplam vektörü ve öncelik değerleri	71
Çizelge 4.8. Kriterlerin ağırlık değerlerine göre sıralanması.....	72
Çizelge 4.9. Tasarlanan koridor alternatifleri	81
Çizelge 4.10. Taşıt gecikmesi değerleri.....	86
Çizelge 4.11. Kuyruk uzunluğu değerleri.....	87
Çizelge 4.12. Durma gecikmesi değerleri.....	88
Çizelge 4.13. Duraklama sayısı değerleri	89
Çizelge 4.14. Seyahat süresi değerleri	90
Çizelge 4.15. Taşıt güvenliği değerleri.....	91
Çizelge 4.16. CO emisyonu değerleri.....	92
Çizelge 4.17. Yakıt tüketimi değerleri.....	93
Çizelge 4.17. Yapım maliyeti değerleri.....	94
Çizelge 4.18. Alternatiflerin genel performans değerleri	95
Çizelge 4.19. Değerlendirme kriter ağırlıkları ve yönleri.....	96
Çizelge 4.20. TOPSIS başlangıç matrisi.....	97
Çizelge 4.21. Normalize edilmiş karar matrisi	98
Çizelge 4.22. Ağırlıklı standart karar matrisi.....	99
Çizelge 4.23. Pozitif ve negatif ideal çözüm kümesi.....	100
Çizelge 4.24. Pozitif ideal ayırım ölçütleri	100
Çizelge 4.25. Negatif ideal ayırım ölçütleri.....	101

Çizelge 4.26. Ayrıl ölçütleri ve sıralama	102
Çizelge 4.27. Alternatiflerin sıralaması	103
Çizelge 5.1. Mevcut ve en iyi alternatifin karşılaştırması	105



1. GİRİŞ

Ulaşım eşyaların veya insanların bir yerden başka bir yere çeşitli ulaşım araçları ile hareket etmesi olarak ifade edilmektedir. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte insanların hareketliliğe olan ihtiyacı doğmuştur ve bunun sonucunda da ulaşım talepleri karşılanamayacak şekilde artmıştır. Bu ulaşım taleplerinin karşılanması için geçmişten günümüze farklı teknolojiler kullanılarak motorlu veya motorsuz taşıtlar geliştirilmiştir. Hem motorlu taşıtların hem de insanların ulaşım yollarını birlikte kullanmasıyla trafik kavramı ortaya çıkmıştır. Trafikte yayaların ve sürücülerin güvenliğini sağlamak hem trafiği oluşturan bileşenlerin görevi hem de yetkililerin görevi olarak atfedilmiştir.

Trafik güvenliği konusunda yapılan çalışmalarda özellikle kent içinde meydana gelen trafik kazalarının yarısından fazlasının kavşak noktalarında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle özellikle araştırmacılar ve yöneticiler trafik kazalarının sayısını azaltmak için kavşaklar hakkında özenle çalışmalarda bulunmuşlardır. Ancak kavşak noktalarının sadece trafik kazalarını önlemek için çalışılmayacağı, aynı zamanda günümüzün en önemli problemlerinden biri olan trafik tıkanıklığı ile ilgili de çeşitli çözümler üretilmelidir.

Trafik tıkanıklığı ve yoğunluğunun artması, hem bahsedilen trafik kazalarının sayısı hem de zaman kaybını ciddi derecede artırmaktadır. Bu olumsuzlukların yanında insanların psikolojik davranışları üzerinde olumsuz izler bırakmaktadır. Bahsedilen bütün bu olumsuz durumların önüne geçebilmek adına zaten önemli bir konu olan kavşak noktaları daha da önemli hale gelmiştir. Hem trafik güvenliğini hem de trafik tıkanıklık yönetimini en üst düzeyde sağlayabilmek için kavşak noktaları en iyi şekilde tasarlanmalıdır. Kavşak tasarımı yapılırken yüksek güvenli ve yüksek kapasiteli bir tasarım gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Günümüzde özellikle bilgisayar programları üzerinden tasarımı yapılan kavşak noktalarının işleyişini etkileyen bütün parametreler dikkate alınarak hangi kavşak

türünün tercih edileceği ciddi derecede uzmanlık isteyen bir konudur. Ayrıca kavşak türüne karar verilen kavşak noktalarında sinyalizasyon sistemlerinin kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacaksa hangi tip sinyalizasyon kullanılacağı da ayrıca göz önüne alınması gereken bir konudur. Bilgisayar programlarının kullanılmasıyla yapılması planlanan kavşak tasarımlarının hem daha hızlı hem de daha ekonomik bir şekilde etkilerinin ve performanslarının ölçülmesi mümkündür.

1.1. Kavşaklar

Yayla (2015) farklı yönlerdeki trafik akımlarının ortaklaşa kullandıkları yol alanını kavşak olarak tanımlamıştır. Kavşak teorik olarak, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi veya birleşmesi ile oluşan ortak alanlar olarak ifade edilmektedir (Başa 2016). Kent içinde ve kent dışında taşıtların ve yayaların çakıştığı özel olarak tasarlanması ve yönetilmesi gereken alanlar olarak ifade edilebilir.

Kavşakta üst düzey güvenliği ve yüksek kapasiteyi sağlamak kavşak tasarımının ana amacı olarak söylenebilir. Kavşaklar tasarlanırken trafiği oluşturan bütün bileşenler dikkate alınmalıdır. Kavşak tasarımı yapılırken belirlenen ilkeler üzerinden bir yol haritası izlenerek daha etkin ve verimli kavşaklar tasarlanabilir.

1.1.1. Kavşak tasarım ilkeleri

Özellikle kent içi yollarda dağıtım ve toplama işini üstlenen alanlar kavşak noktaları olarak ön plana çıkmaktadır. Trafik yoğunluğunun fazla olduğu bu noktaların tasarımı yapılırken hiç kuşkusuz bazı hususlar göz önüne alınmalıdır. Bu hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Farklı yönlerden kavşak merkezine doğru hareket eden taşıtların herhangi bir çarpışma olasılığını ortadan kaldırmak.

2. Kavşak kollarında bulunan taşıtların kavşağı kullanmak için birbirlerine engel teşkil etme durumlarını en aza indirmek. Yani kavşak yönetim sisteminin etkin çalıştırılması ile zaman kaybı kavramını minimum düzeylere indirmek.
3. Kavşağı kullanmak isteyen bütün taşıtlara eşit şekilde güvenlik, kullanılabilirlik ve trafik akışı sağlamak.

Yukarıdaki maddeleri tüm kavşak tipleri için geçerli kılmak için daha genel maddeler halinde ifade etmek gerekebilir. Bir kavşak tasarımı yapılırken göz önünde tutulması gereken 4 ana prensip şunlardır;

1. Trafik güvenliği
2. Yeterli ve Yüksek kapasite
3. Ekonomi
4. Çevreyle uyum

Kavşaklar, çevreyle uyumlu olan, trafik kaza risklerini en aza indiren, yeterli ve gerektiğinde yüksek kapasiteyi sağlayan, en ekonomik şekilde tasarlanan alanlar olmalıdır. Belirtilen bu hususlar etrafında, kavşak tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken ana faktörler ayrıca şunlar olmalıdır;

1. Kavşağın yol ağı içindeki durumu ve önemi
2. Mevcut trafik özellikleri
3. Kavşağı ve elemanlarını oluşturan geometrik unsurların özellikleri
4. Komşu kavşaklar ile uyum durumu
5. Sürücü ve yaya davranışları
6. Coğrafik koşullar ve çevre şartları (Yayla 2015)

Yukarıdaki maddeler tek tek incelenmeli ve kavşağın tüm karakteristik koşulları tam olarak analiz edildikten sonra kavşak tasarımına ve inşasına başlanmalıdır.

1. Kavşağın yol ağı içindeki durumu ve önemi: Kavşağı kullanacak ana yolların veya kavşağa birleşen yolların sınıfı ve hizmet düzeyleri ile ilgili bilgilerdir. Kavşağın yapılması planlanan bölgedeki trafik yükünü ne kadar hafiflettiği konusunda bilgi vermektedir.

2. Mevcut trafik özellikleri: Kavşak tasarımı yapılırken özellikle geometrik koşullar seçiminde en etkin rol oynayan unsurdur. Trafiğin durumuna göre hem düzey seçimi hem de kontrol seçimi gerçekleştirilmektedir. Kavşak tasarımı sırasında o kavşağa ait bilinmesi gereken trafik özellikler şunlardır;

- Kavşağa ait kollardaki Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değeri
- Trafiğin günlük, haftalık, aylık ve yıllık değişimleri
- Trafiği oluşturan yaya ve taşıtların oranları
- Kavşağı kullanan taşıtların, taşıt cinsinden oranları
- Kavşağın bağlı olduğu yollardaki proje hız değeri
- Zirve saat olarak isimlendirilen zaman dilimlerinde kavşağı kullanan araçların hangi yönde hareket ettiklerine dair net bilgiler
- Kavşağın çevre ve sosyal hayat ile ilişkisi
- Kavşağı kullanan ve kavşak yakınında trafiği oluşturan yayaların etkinliği
- Kavşak üzerinde meydana gelen trafik kazalarının bilgileri

3. Kavşağı ve elemanlarını oluşturan geometrik unsurların özellikleri: Varsa mevcut kavşak durumunun geometrik özellikleri ile buna bağlanan yolların geometrik durumları, tasarımı yapılacak kavşağın geometrisini etkilemektedir. Bir kavşağın geometrik durumuna karar verilirken aşağıda belirtilen geometrik unsurlar dikkate alınmalıdır.

- Kavşağa bağlanan yolların durumu ve sayısal bilgisi
- Kavşak kollarının açılma özellikleri
- Hem kavşak kolları için hem de kavşak merkezi için görüş uzunlukları
- Komşu kavşaklara olan uzaklıkları
- Kavşak bölgesinin coğrafik durumu

4. Komşu kavşaklar ile uyum durumu: Birbirine komşu olan kavşakların yönetim biçimlerinin, kapasite ve güvenlik koşulları öncelikli olmak şartıyla birbirlerine benzer tiplerde olması kullanıcılar açısından olumlu davranış sergilenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca sinyalizasyon sistemlerinin, yine güvenlik ve kapasite koşullarını sağladığı durumlarda birbirleriyle entegrasyonun sağlanmış biçimde çalışması hem kullanıcıların kavşağı kullanma sürelerini hem de yoğunluğu azaltacaktır. İki komşu kavşağın gelişen teknoloji ile birlikte birbiriyle “akıllı kavşak sistemi” prensibi temeline dayanan yönetim şekliyle çalışması kavşağına ait olumsuzlukları azaltacaktır.

5. Sürücü ve yaya davranışları: Kavşak tasarlanırken dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden biri sürücü ve yaya davranışlarıdır. Bir kavşağın teorik olarak mükemmel tasarlanması mümkündür. Ancak pratikte bu mükemmellik sürücü ve yaya davranışlarıyla orantılı bir şekilde değişebilir. Sürücülerin ve yayaların kavşak yönetim ve kontrol mekanizma kurallarına uygun davranış sergilemesi kavşağın çalışması ve işletimini kolaylaştıracaktır. Bu nedenle kavşak tasarlanırken özellikle sürücü ve yaya psikolojisi dikkate alınmalıdır.

6. Coğrafik koşullar ve çevre şartları: Bir kavşak yapılırken özellikle ekonomiklik bakımından etkileyen coğrafik şartlar göz önüne alınmalıdır. Kavşağın topoğrafik durumu, kavşağına bağlanan yolların eğimleri, kavşağına bağlanan yolların açısı dikkat edilmesi gereken konulardır. Ayrıca kavşağın çevre de bulunan sosyal, kültürel ve çevresel koşullar ile uyumlu olması son derece önemlidir (Abret 2016).

Kavşak tasarlanırken daha önce de ifade edildiği gibi yüksek güvenlik ve yüksek kapasite ilkelerinden taviz verilmemesi gerekmektedir. Ancak bu ilkeleri hayata geçirirken ekonomiklik ve çevreye uyum şartı da kesinlikle unutulmamalıdır. Yüksek kapasite istenen yerlerde gereğinden daha iyi geometrik koşullar sağlanabilir veya mevcut YOGT’yi karşılayan eşdüzey kavşak yerine farklı düzey kavşak tercih edilebilir. Aynı şekilde güvenlik ilkesini hayata daha etkin bir şekilde geçirmek için kavşağına bağlanan kollar arasındaki açılar gereğinden daha iyi bir seviyede tutulabilir veya sürücülerin görüşünü engelleyebilme ihtimali olan nesnelere bile düşünülerek tasarım yapılabilir. Ancak bahsedilen ilkelerin daha kaliteli hayata geçirilmesi için önünde bulunan en büyük engel ekonomidir. Bunun haricinde kavşak noktalarında meydana

gelen tıkanmaların ve karışıklıkların önüne geçebilmek için o kavşak noktasına etki eden bütün parametreler iyice irdelenmelidir. Bu değerlendirme sonucunda, aslında 4 ana prensibe dayandırılan kavşak tasarım esasları daha da genişletilebilir (Murat 2012).

1. İnsan Faktörü

- Sürücü psikolojisi
- Sürücünün reaksiyon yeteneği
- Sürücünün trafik akımından beklentileri
- Sürücünün intikal reaksiyon süresi
- Sürücünün kurallara uyum eğilimi
- Yaya psikolojisi
- Yayaların trafik ile etkileşim eğilimi
- Yayaların kavşak kurallarına uyum durumu

2. Trafik Faktörü

- Mevcut ve tasarım sonrasındaki kapasite
- Saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak değerlendirilen trafik hacim değerleri
- Taşıtların yön eğilim oranları
- Zirve saatlerde meydana gelen trafik hacim değerleri
- Taşıtların boyutları ve özellikleri
- Taşıtların hareketlerinin dağılımı
- Trafik akışının hızı
- Meydana gelen trafik kazalarının sayısı ve analizi
- Yaya hareketleri ve davranışları
- Yaya trafiğinin hareket dağılımları
- Yaya trafiğinin hacim değerleri

3. Fiziksel Faktörler

- Kavşak noktasının geometrik durumu
- Çevresel koşullar
- Geometrik koşulların güvenlik durumu
- Trafik işaretleme ve aydınlatma koşulları
- Yayaların için oluşturulan geometrik düzenlemeler

4. Ekonomik Faktörler

- Kavşak geometrisi için yapım maliyeti
- Bakım ve işletme maliyetleri
- Trafikten dolayı meydana gelen dolaylı maliyetler

5. Sosyal Faktörler

- Demografik olgular
- Kültürel yapılar

6. Fonksiyonel Kavşak Alanı

Bir kavşak alanı fiziksel ve fonksiyonel alanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Kavşağa bağlanan yolların çakışma bölgesi fiziksel alan olarak ifade edilmektedir. Fonksiyonel alan ise, fiziksel alanı da kapsayan, kavşak giriş ve çıkış bölgeleri arasında kalan tüm alanı kapsamaktadır. Kavşak noktalarında fonksiyonel alanlar üç ana bölümden oluşmaktadır.

- İntikal-reaksiyon mesafesi
- Manevra mesafesi
- Depolama mesafesi (Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM 2005))

1.2. Kullanıcı Özellikleri

Kavşak noktalarında genel olarak kesişme, ayrılma, katılma ve örülme olmak üzere 4 farklı hareketten dolayı karışıklık ve çakışma noktaları meydana gelmektedir. Bu karışıklıklar limitli kapasite ile aşırı talebin karşılanma isteği sonucundan dolayı meydana gelmektedir. Aşırı talebin en iyi etkin şekilde karşılanabilmesi için limitli kapasitenin en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Kapasite ve talep yönetimi doğru bir şekilde yapılmadığında ani frenleme, düzensiz şerit kullanımı, gecikme sürelerinin artması ve seyahat sürelerinde artış meydana gelmektedir. Bu tarz olumsuz durumların meydana gelmesi kavşak noktasının işletim düzeyinin ciddi derecede düşmesine sebep olmaktadır. Buna göre karışıklıkları kullanıcı ve kavşağın işletim özellikleri olmak üzere iki başlık altında değerlendirmek gerekir. Durumu kullanıcı açısından değerlendirmek için insan faktörü, taşıt özellikleri ve çevresel özellikler dikkate alınmalıdır.

1.2.1. İnsan faktörü

Kavşak yaklaşım kolunda bulunan taşıt sürücünün kavşağı doğru bir şekilde kullanabilmesi için yapması gereken birkaç hareket bulunmaktadır. Taşıt sürücüsünün gideceği güzergâhı tayin etmesi, güzergâh üzerinde gerekli manevraları yapması, trafik akışına uygun bir şekilde hareket etmesi ve tüm bu sorumluluklarına gerekli reaksiyonu vermesi bu hareketlere örnek olarak gösterilebilir. Taşıt sürücülerinin bahsedilen sorumlulukları yerine getirmesi için kavşak noktasından bazı beklentileri karşılanmalıdır. Bu beklentiler;

1. Yanlış şeridi kullanmaması için güzergâhı üzerindeki şeritleri net bir şekilde ifade eden trafik işaretlemelerin bulunması,
2. Yaklaşım kollarında görüş mesafesine engel teşkil edebilecek unsurların bulunmaması,
3. Dönüş şeritleri ve adalar gibi geometrik elemanların devamlılığının ve kalitelerinin sağlanması,

4. Trafik kontrol elemanları ile trafik levhaları arasında herhangi bir çelişkinin bulunmaması,
5. Taşıtların sürücüsünü şaşkıncı tasarımlardan kaçınılması,
6. Kavşağa giriş ve çıkış şeritlerinin uygun bir şekilde tasarlanması,
7. Dönüş şeritlerinde dönüş için yeterli alanın sağlanması,
8. Trafik kontrol yönetimi altında yeterli görüş mesafesinin mevcut olması.

Kavşak işletiminin kalitesinin sağlanması ve artırılması için sürücü beklentileri karşılanmalıdır. Ayrıca sürücülerin kural ihlallerine sebebiyet verecek tasarımlardan ve düzenlemelerden uzak durulmalıdır (İnançlı 2012).

1.2.2. Taşıtların özellikleri

Fiziksel boyutların ve taşıtların işletim özelliklerinin kavşak noktası üzerinde etkileri mevcuttur. Minimum ve gerekli şerit genişlikleri, dönüş şerit genişlikleri ve yedek şerit boyutları taşıtların özelliklerinin birer parametresidir. İşletim özellikleri (hızlanma, yavaşlama, minimum dönüş yarıçapı), tekil şeritler, yavaşlama ve hızlanma şeritleri, dönüş alanları ve köşe adaların tasarımını etkilemektedir. Kavşak tasarımı için taşıtların ve işletim özelliklerinin kavşağın hangi parametresini etkilediğine dair bilgiler Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Kavşak tasarımı için taşıtların ve işletim özellikleri (NCHRP 2003)

Taşıtların Özellikleri	Etkilediği Kavşak Tasarım Elemanı
1. Fiziksel Özellikler	
a. Uzunluk	Yardımcı şeritlerin uzunluğu
b. Genişlik	Şeritlerin genişliği Dönen yolların boyutu
c. Yükseklik	Baş üstü sinyal ve işaretlemelerin yerleşimi Üst yapı yüksekliği
2. İşletim Özellikleri	
a. Dönüş manevrası	Dönüş yarıçapı Dönen şeritlerin boyutu
b. Hızlanma	Hızlanma şeritleri ve şerit boyutları
c. Yavaşlama ve fren kabiliyeti	Yavaşlama şeritleri ve daralmanın uzunluğu Duruş görüş mesafesi

1.2.3. Çevre faktörü

Kavşağın kullanıcı özellikleriyle ilgili bir diğer parametresi ise çevre faktörüdür. Çevresel faktörler, yol ve alan çeşidi, kullanım imkânı ve iklimsel bilgilerdir.

Ana yollarda trafik hacmi daima yüksek seviyelerde seyretmektedir. Taşıt sürücüleri izledikleri rotalarda, yolun devamlılığını ve yüksek hizmet seviyesine sahip olmasını bekler. Kavşak noktalarının verimliliği büyük ölçekte çevredeki alanların kullanım imkânları ile orantılıdır. İklim şartları kavşağın tasarımı aşamasında değerlendirilmesi gereken bir diğer çevre faktörüdür (Murat 1996).

1.3. Kavşağın İşletim Özellikleri

Kavşak işletim niteliklerinin iyi değerlendirilmesi ile kavşağa ait yönlendirme-kanallama ilkeleri ve kavşak noktasının tasarımının daha uygun olması sağlanabilir. Özellikle kavşak tasarım ilkeleri olan yüksek güvenlik ve yüksek kapasite konuları ön plana çıkmaktadır.

Kavşak noktalarında meydana gelen trafik kazalarının nedenleri çok çeşitlidir. Bu nedenler;

- Yaklaşım kollarında uygun olmayan görüş mesafesi
- Kavşak köşe noktalarında yetersiz görüş mesafesi
- Kavşak yaklaşımında trafik akışını bozma potansiyeli olan engeller
- Kavşak noktasına uyumlu olmayan trafik kontrol çeşitleri
- Kavşak noktasını kullanmak için birden fazla yaklaşımlar
- Kavşak noktalarında oluşturulan uygunsuz kurp tasarımları ve yarıçapları
- Kavşağı katılan yan yolların veya giriş yollarının sayısı ve uygunsuzluğu
- Kavşak noktasını kullanan taşıt sürücülerine yeterli gelmeyen şerit genişlikleri
- Kavşak tasarlanırken yapılan yanlış eğim hesaplamaları (Murat 2012)

Kavşak noktaların yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı her yıl çok sayıda trafik kazası meydana gelmektedir. Bu kazalarda insanlar yaralanmakta ve hatta hayatlarını kaybetmektedir. Özellikle kavşak noktalarında meydana gelen trafik kazalarının sayısını azaltmak için alınması muhtemelen mühendislik kararları ise şunlardır;

- Şerit boyutlarında imkanlar dahilinde uygun standartları sağlamak,
- Manevra kabiliyetini kolaylaştırmak için ek dönüş şeritleri eklemek,
- Trafik kontrol türünü teknolojiyle birlikte en etkin duruma getirmek,
- Kavşak noktasında sağlanması gereken minimum görüş mesafelerini sağlamak,
- Trafik akışına engel teşkil eden unsurları kaldırmak,
- Kavşağa bağlanan yolların kesişme açılarını en uygun seviyeye çıkarmak,
- Kavşaktan ayrılma ve kavşağa katılma açılarını işletilebilirlik göz önüne alınarak minimuma indirmek (Acar 2009).

Tüm bahsedilen tasarım prensipleri, kavşağın kullanım ve işletim özellikleri dikkate alınarak kavşak noktasının hangi amaçla tasarlanacağı gibi konular irdelenebilir. Bu bilgiler ışığında kavşağın genel olarak özellikleri ortaya konabilir.

1.4. Kavşakların Genel Özellikleri

Kavşak noktaları temel olarak taşıtların kendi aralarında veya taşıtlar ile yayaların etkileşimde bulunduğu iki ve daha fazla kol sayısına sahip olan trafik akımlarının yönetildiği bölgelerdir. Kavşak tasarımı ve işletilmesinde, prensipler ve özellikler dikkate alınarak şu parametreler sağlanmalıdır.

- Devamlılığın kesintiye uğramaması,
- Trafik güvenliliğinin yüksek olması,
- Kurallar dahilinde çıkılabilecek en yüksek hız limiti ile trafik akımının devam ettirilebilmesi,

- Kavşağı kullanan taşıtların ve/veya insanların gecikmeden dolayı zaman kayıplarının minimuma indirilmesi,
- Duraklama sayısının en aza indirilmesi,
- Kavşağın bakım ve işletim maliyetlerinin minimum seviyelere indirilmesi,
- Taşıt bakımından oluşan maliyetlerin en aza indirilmesi,
- Her zaman yüksek kapasite ile çalışması,
- Dolaylı maliyetleri oluşturan etmenlerin ortadan kaldırılması.

Bu parametrelerin sağlanması için prensip maddeleri referans alınarak kavşak tasarımı yapılırken bütün kavşak tipleri dikkate alınmalıdır.

1.5. Kavşak Tipleri

Kavşak noktalarındaki geometrik koşullar trafik özellikleri ile orantılı olarak değişmektedir. Bu bağlamda, düşük trafik hacmine sahip yollarda yüksek kapasite-yüksek güvenlik ilkesi eşdüzey kavşaklar ile sağlanabilirken, yüksek trafik hacmine sahip yollarda bu ilkeler farklı düzey kavşak tasarımı ile sağlanabilmektedir.

Kavşaklar sahip olduğu özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılabilirler. Ancak geometrik özellikler dikkate alınarak iki ana başlık altında sınıflandırılabilir.

1. Hemzemin (Eşdüzey) Kavşaklar
2. Farklı Seviyeli (Köprülü-Eşdüzey Olmayan) Kavşaklar

1.5.1. Hemzemin (eşdüzey) kavşaklar

KGM'nin tanımlamasına göre eşdüzey kavşak, iki veya daha fazla karayolunun aynı düzlemde kesişmesi sonucunda oluşan kavşaklardır. Bu tür kavşaklar, yüksek trafik hacmine sahip olmayan yollarda tercih edilmektedir. Eşdüzey kavşak tasarlanırken,

kavşak kollarındaki trafik hacmi, kavşak noktasının arazi koşulları, taşıt ve yaya açısından güvenlik kriterleri öncelikli olarak dikkate alınmaktadır (KGM 2005).

Eşdüzey kavşaklarda yüksek güvenlik ve yüksek kapasite ilkelerinin yanında trafik akımının kontrol edilmesi ve gecikmelerin azaltılması için başlıca bazı parametreler dikkate alınır. Bu parametreler;

- Kavşak kol sayısı,
- Kavşağa bağlanan yolların trafik hacim değerleri,
- Taşıtların hareket dağılımlarına göre trafik hacim değerleri
- Proje hızı

Ayrıca kavşak tasarımı yapılırken, ekonomi durumu, topoğrafik özellikler, kavşağın estetik olması, çevreye uygunluğu gibi niteliklerde dikkate alınarak tasarlanmalıdır. (Tunç 2013).

Ana yol trafiğine özgü düzenlemelere bağlı olarak eşdüzey kavşaklar iki ana kategori altında sınıflandırılabilir. Her bir kavşak kategorisi için çok sayıda farklı kavşak sınıfı mevcuttur. KGM tarafından eşdüzey kavşakların sınıflandırılması Çizelge 1.2’de görülmektedir.

Çizelge 1.2. Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması (KGM 2000)

Kavşak Kategorisi	Trafik Düzenleme Türü		Kavşak Tipleri
	Ana yol	Tali yol	
Öncelikli Kavşak	Öncelik	Durma veya yol verme kontrolü	Ayrı dönüş şeritlerine ve trafik adalarının kullanımına bağlı olarak çeşitli tipler
Kontrollü Kavşak	Durma veya yol verme kontrolü		Dönel Kavşak veya Sinyalize Kavşak

Çizelge 1.2'ye ek olarak kavşak tiplerini faaliyet alanı, şekil ve kanalize olma durumuna göre kategorilendirmek mümkündür.

Eşdüzey kavşaklar, şekil açısından üç ana kategoriye ayrılmakla birlikte bu sayı daha da artırılabilir.

- a. Üç kollu kavşaklar (T veya Y tipi kavşaklar)
- b. Dört kollu kavşaklar
- c. Çok kollu kavşaklar

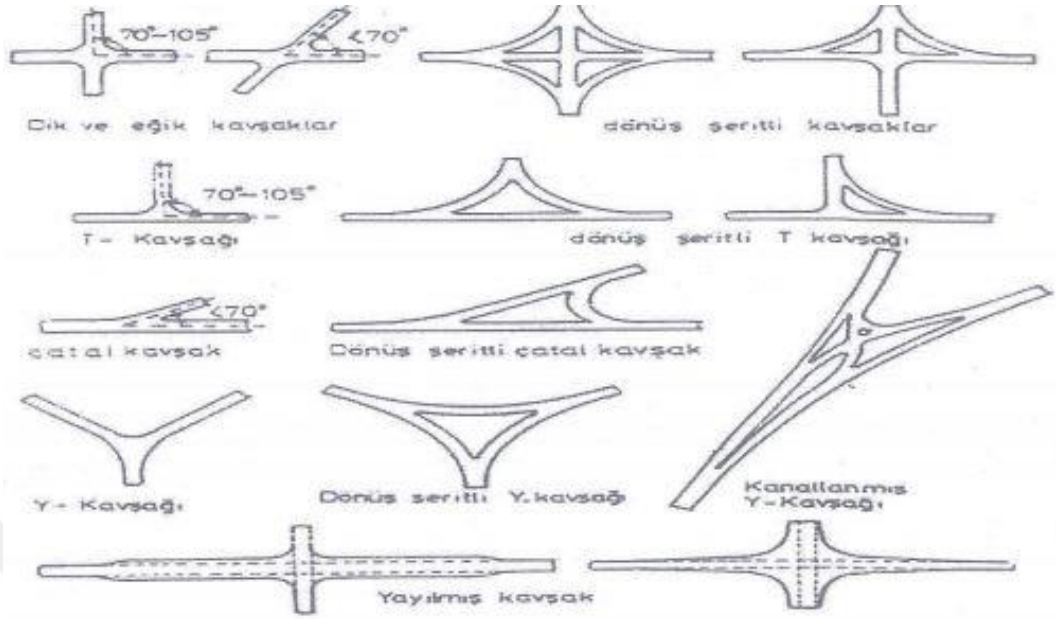
Eşdüzey kavşaklar trafik kontrol sistemine göre iki başlık altında sınıflandırılmaktadır.

- a. Sinyalize kavşaklar
- b. Sinyalize olmayan kavşaklar

Ayrıca mevcut trafik akımına katılım ve ayrılmalarda kapasitenin etkilenmemesi için oluşturulan geometrik şekillerine göre iki kategoriye ayrılmaktadır.³

- a. Kanalize edilmiş kavşak
- b. Kanalize edilmemiş kavşak

Eşdüzey kavşakların tipleri geometrik şekil, açısal özellikler gibi parametrelere bağlı olarak artmaktadır. Şekil 1.1'de çeşitli eşdüzey kavşak tasarım tipleri sunulmuştur.



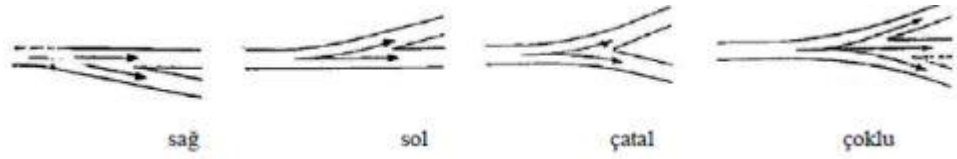
Şekil 1.1. Eşdüzey kavşak tipleri (Yayla 2015)

Trafik akımının düzenlendiği ve yönetildiği eşdüzey kavşaklarda, kavşağın etkin bir şekilde kullanılması için kavşaklarda meydana gelen trafik hareketleri her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Eşdüzey kavşaktaki trafik hareketleri;

- Ayrılma
- Kesişme
- Katılma
- Örülme

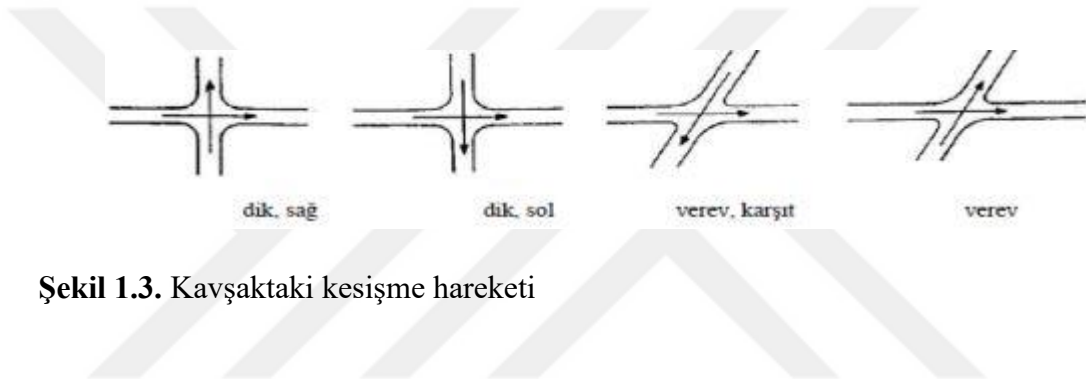
Kavşak tasarımı yapılırken mutlaka dikkate alınması gereken bu trafik hareketleri doğru bir şekilde yönetilmediği zaman trafik gecikmelerinin en büyük nedenleri arasında gösterilmektedir.

Ayrılma hareketi, taşıtın anayol trafiğinden ayrılıp tali yol trafiğine dahil olmasıyla gerçekleşmektedir. Şekil 1.2’de ayrılma hareketinin tipleri görülmektedir.



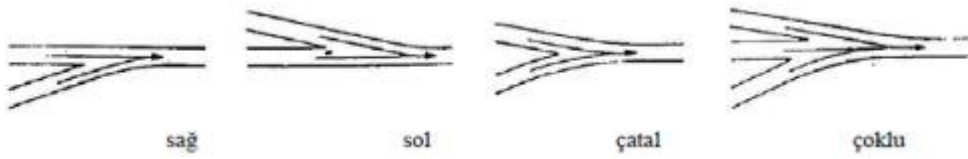
Şekil 1.2. Eşdüzey kavşaktaki ayrılma hareketi

Kesişme hareketi, farklı yönlerden kavşağa katılan trafik akımlarının kavşak noktasında çakışmasıyla meydana gelmektedir. Şekil 1.3’de kesişme hareketinin çeşitleri sunulmaktadır.



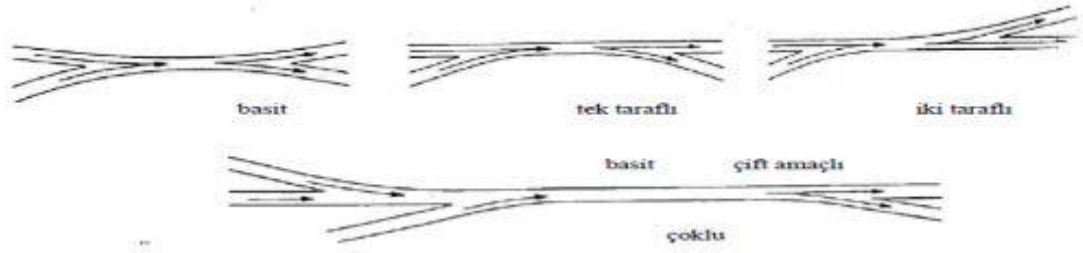
Şekil 1.3. Kavşaktaki kesişme hareketi

Katılma hareketi, bir taşıtın tali yol trafiğinden kontrollü bir şekilde ana yol trafiğine dahil olmasıdır. Şekil 1.4’de katılma hareketi ile ilgili görsel sunulmuştur.



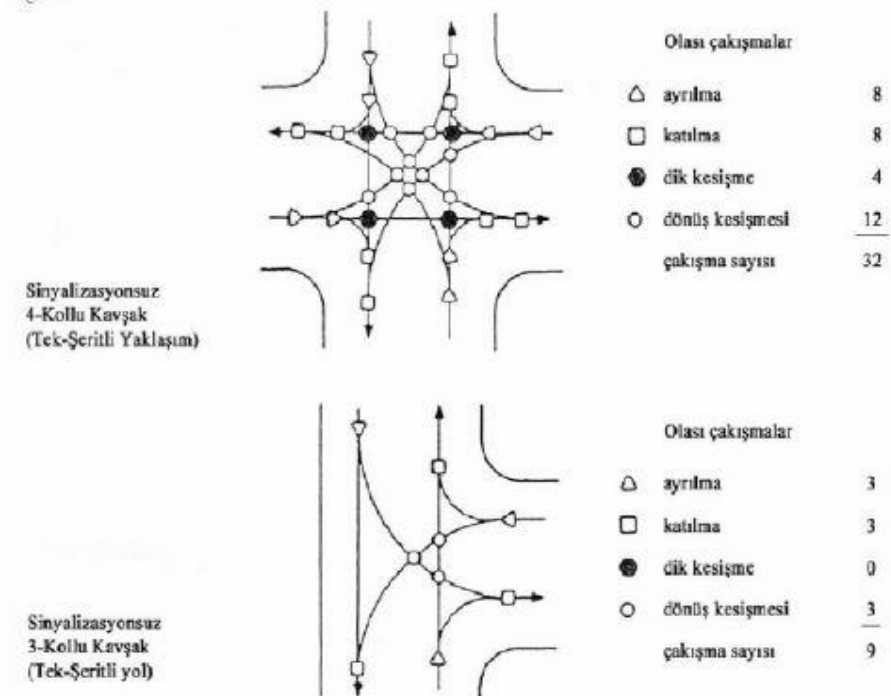
Şekil 1.4. Eşdüzey kavşaktaki katılma hareketi

Örülme hareketi, aynı yöndeki trafik akımında meydana gelen ayrılma ve katılma hareketlerinin kesişmesi veya çakışması ile oluşan trafik hareketidir. Şekil 1.5’de örülme hareketi tipleri ile ilgili görsel sunulmuştur.

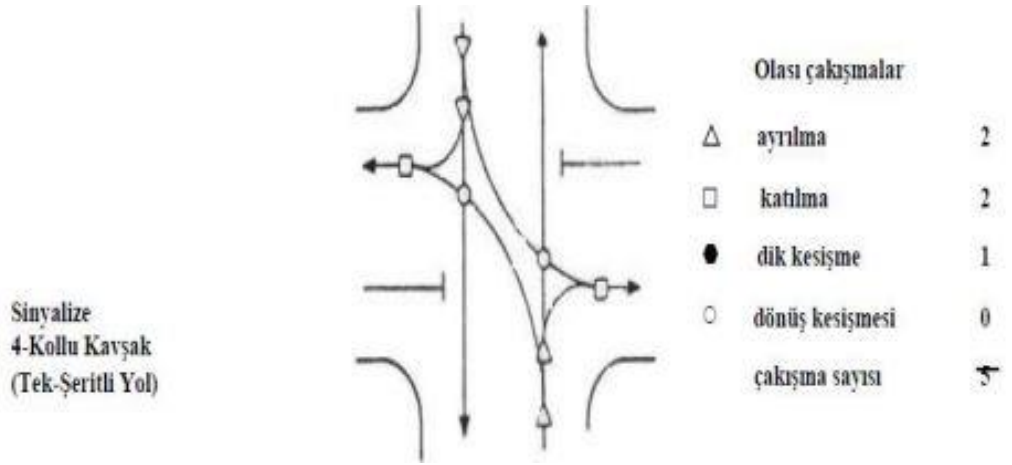


Şekil 1.5. Eşdüzey kavşaktaki örülme hareketi (KGM 2005)

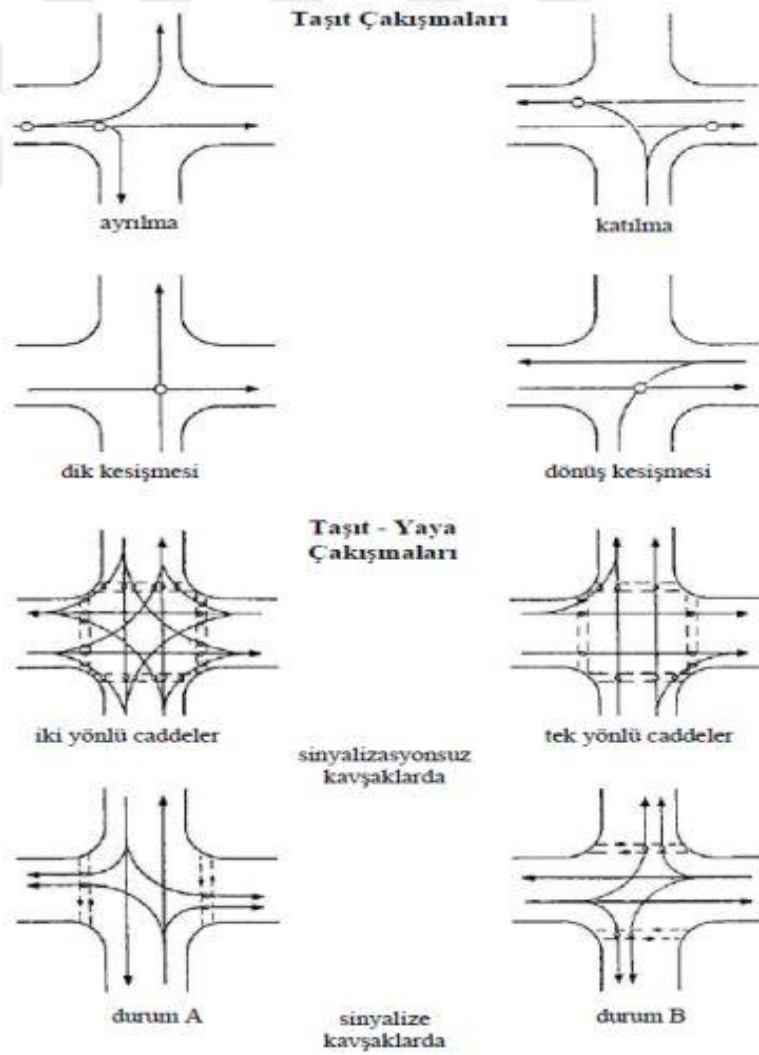
Kavşak noktalarında geometrik kontrol türü haricinde sinyalizasyon tipleriyle de kontrol ve yönetimi sağlamak mümkündür. Eşdüzey kavşaklar, sinyalizasyonlu ve sinyalizasyonsuz olmak üzere iki kategori şeklinde sınıflandırılmıştır. Eşdüzey kavşaklarda trafik hareketlerinden dolayı çakışma noktaları meydana gelmektedir. Bu çakışma noktaları sinyalize kavşakta farklı noktalarda meydana gelirken sinyalize olmayan kavşaklarda farklı noktalarda meydana gelmektedir. Şekil 1.6, 1.7 ve 1.8'de çakışma noktaları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Sinyalize olmayan kavşaklarda çakışma noktaları



Şekil 1.7. Eşdüzey sinyalize kavşaklarda çakışma noktaları



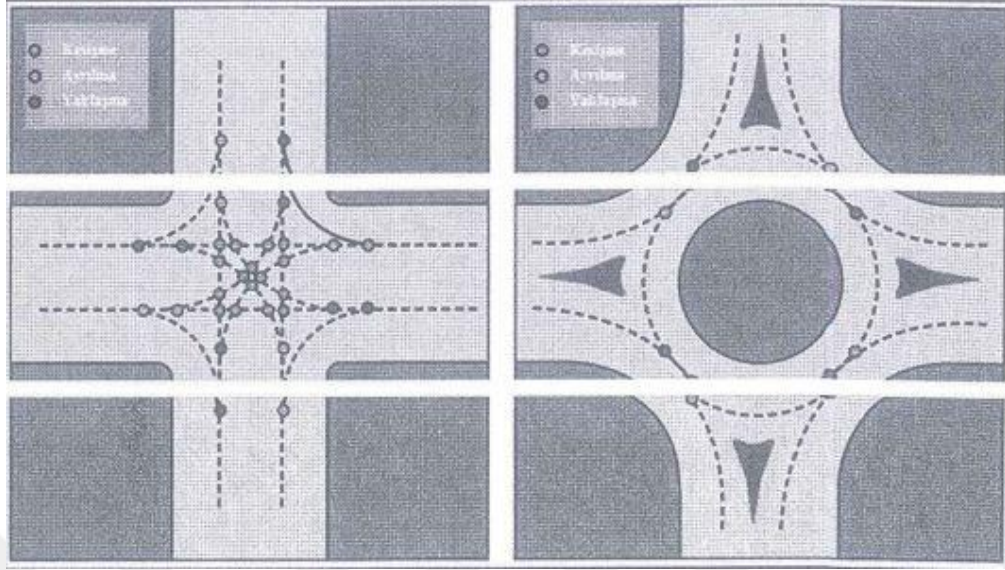
Şekil 1.8. Kavşak noktalarının yaya ve taşıt çakışma noktaları

Eşdüzey kavşak sınıfında bulunan dönel kavşaklar özel olarak irdelenmesi gereken bir kavşak türüdür. Dönel kavşaklar genelde trafik akımı sağdan akıyorsa saat yönünün aksi istikametinde dairesel bir ada etrafında, trafik akımı soldan akıyorsa saat yönü istikametinde dairesel bir ada etrafında taşıtların hareket ettiği yönlendirilmiş ve etkin yönetimi yapılan kavşaklardır.

Dairesel veya buna benzer geometrik şekillerle oluşturulan kavşaklarda hareketin devamlılığı esas kılınmıştır. Aynı anda tüm kavşak kollarından kavşağa taşıtlar katılma hareketinde bulunabilir ve yine aynı anda bütün kollara ayrılma hareketi gerçekleşebilir. Trafik levhaları yardımıyla denetimi, kontrolü ve yönetimi yapılan kavşaklarda geçiş önceliği kuralı işletilmektedir. Kavşağa bağlanan kollardaki taşıtlar kavşağa dahil olurken mecburi yavaşlama hareketi yaparak hızlarını azaltmakta bu da çakışma bölgelerinde trafik kazası riskini azaltmaktadır. Ancak kavşağın trafik düzenlemeleri iyi yapılmadığında veya sürücülerin kurallara uyma eğilimi düşük olduğu durumlarda dönel kavşaklarda gecikmeler, tıkanmalar ve hatta trafik kazaları meydana gelmektedir. Trafik hacminin yüksek olduğu yollarda dönel kavşak uygulaması yapılmak isteniyorsa tavsiye edilmeyen bir durum olmasına rağmen sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır (Güldamlaşı 2007).

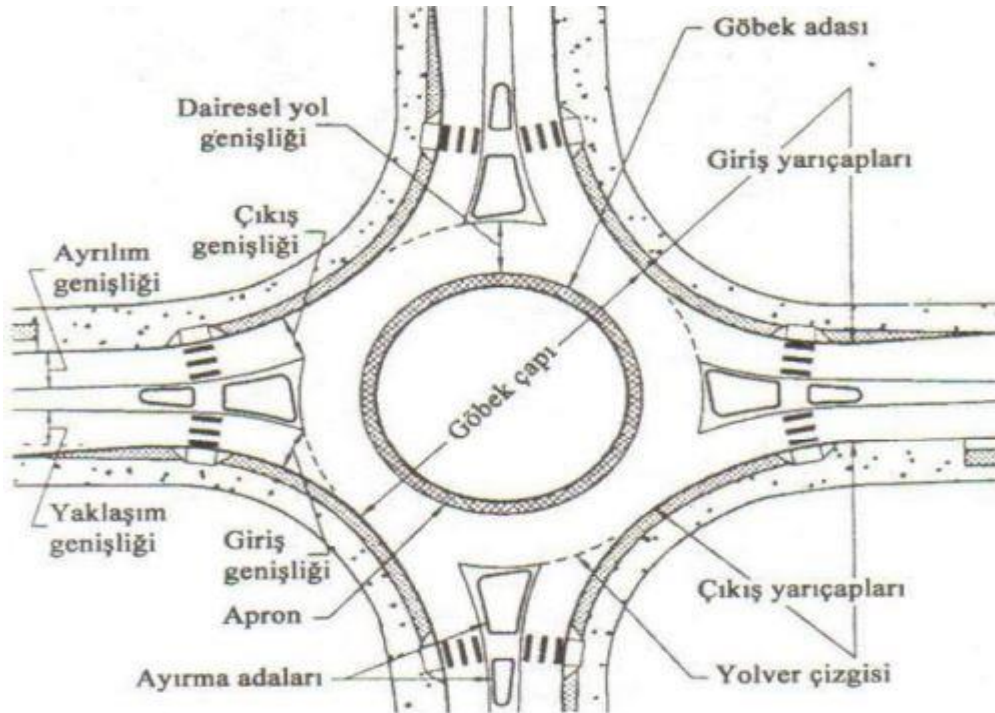
Dönel kavşak tasarımı yapılan kavşak noktalarında çakışma noktalarının sayısı 8'e kadar inmektedir. Bu durum denetimsiz bir eşdüzey kavşak ile karşılaştırılacak olursa dönel kavşağın daha güvenli bir kavşak olduğu olgusu öne çıkmaktadır. Şekil 1.9'da dönel kavşak ile denetimsiz bir eşdüzey kavşağın çakışma noktaları bakımından karşılaştırılması ile ilişkili bir görsel sunulmuştur (Gross *et al.* 2013).

Eşdüzey ve farklı düzey tasarımları olan dönel kavşak türünün ada çapının değiştirilmesi ile farklı varyasyonları günümüzde kullanılmaktadır. Şekil 1.10'da dönel kavşağın geometrik elemanları ile ilgili bir görsel sunulmuştur.



Şekil 1.9. Denetimsiz eşdüzey kavşak ve dönele kavşak çakışma noktaları

Eşdüzey ve farklı düzey tasarımları olan dönele kavşak türünün ada çapının değiştirilmesi ile farklı varyasyonları günümüzde kullanılmaktadır. Şekil 1.10'da dönele kavşağın geometrik elemanları ile ilgili bir görsel sunulmuştur (Özge 2010).



Şekil 1.10. Dönele kavşak geometrik elemanları

Trafik ile ilgili problemlere daha kalıcı çözümler üretmek için farklı düzey kavşak tipleri kullanılabilir. Ancak farklı düzey kavşakların eşdüzey kavşaklara göre en büyük dezavantajı maliyetlerinin yüksek olması ve her bölge için uygulanabilir olmamasıdır.

1.5.2. Farklı düzey kavşaklar

Kesişmelerin meydana geldiği kavşak bölgelerin yüksek hacme sahip trafikleri güvenli ve etkin bir şekilde yönetebilmek ve denetleyebilmek için farklı düzey kavşak tasarımı kullanılabilir. Kavşaklarda güvenliğin sağlanabilmesi için en etkili yöntem kesişmelerin ortadan kaldırılmasıdır. Bunun için farklı düzey kavşaklar kullanılmaktadır. Farklı düzey kavşak, iki veya daha fazla yol ağından oluşan kavşak kesimlerinde meydana gelen kesişme, ayrılma, katılma ve örülme hareketlerini farklı düzeylerde sağlayan kavşaklar olarak adlandırılmaktadır. Güldamlaşı (2007) farklı düzey kavşakları, alt geçit veya üst geçit sayesinde kesişen trafik akımlarının farklı seviyelere aktarılması olarak tanımlamaktadır.

Kavşakların ana prensibi olan yüksek güvenlik ve yüksek kapasitenin farklı düzey kavşaklarda da sağlanması gerekmektedir. Farklı seviyeli kavşak yaparak zaten güvenlik ilkesi sağlanmaktadır. Ancak farklı düzey kavşakların daha etkin bir kapasite yönetimi yapılabilmesi için şu etkenlere dikkat edilmelidir.

- Kavşak kollarının geometrik tasarımı
- Giriş ve çıkış kollarının geometrik tasarımı
- Ana yol üzerindeki trafiğin durumu (Anonim 2014).

Farklı düzey kavşaklar geometrik ve kapsam bakımından yeniden düzenlenebilir kavşaklardır. Kavşağı oluşturan kesişim kollarının farklı düzeyde olması ana esastır. Ancak kavşak kollarına ait topoğrafik özellikler, maliyet koşulları, estetik olgular ve kamulaştırma durumlarına göre farklı düzey kavşaklar çeşitlendirilebilir. Farklı düzey kavşakların tüm çeşitlerinde kavşağı oluşturan kolların simetrik bir şekilde tasarlanması önerilen bir durumdur.

Bir kavşak bölgesinde farklı düzey kavşakların tercih edilebilmesi için çeşitli durumların olması gereklidir. Bunlar;

- Kavşak kollarındaki trafik hacminin yüksek olması,
- Mevcutta bulunan kavşağın gerekli kapasiteyi sağlayamaması,
- Kavşağı oluşturan yolların altyapı durumunun iyi olması,
- Mevcut kavşakta yaşanan kazalara çözüm olarak farklı düzey kavşak tipinin iyileştirme ekipmanı olarak önerilmesi,
- Kavşağı kullanan taşıt sürücülerine sosyo-ekonomik fayda sağlaması.

Trafik hacminin fazla olduğu otoyol, çevre yolu, devlet yolu gibi yollarda mevcut kavşak tipinin gerekli kapasiteyi sağlamaması ve mevcut kavşak üzerinde meydana gelen trafik kazalarının sayısının yüksek olması durumunda farklı düzey kavşak tek alternatif olarak önerilmektedir. Farklı düzey kavşaklar tüm bu olumsuzlukların yanında kullanıcı açısından meydana gelen zaman kaybı problemini de ortadan kaldıracak bir yöntemdir.

Farklı düzey kavşak tasarımında en çok özen gösterilmesi gereken konu kavşak tipinin seçilmesidir. Farklı düzey kavşak tipinin seçiminde, arazinin kullanılabilirlik durumu, bölgenin demografik yapısı, bölgenin topoğrafik yapısı, yapım-bakım ve işletme maliyetleri, kamulaştırma durumu, yayaların yoğunluğu ve hareket eğilimleri, proje hızı, kavşağı oluşturan kol sayısı, bu kollardaki trafik değerleri ve birleşimi gibi parametreler önemli rol oynamaktadır.

Farklı düzey kavşak tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır;

- Anayol olarak dikkate alınan yol kesimindeki mevcut hız değeri değiştirilmemelidir. Sadece trafik hareketlerinin yoğun olduğu yol kesimlerinde denetim ve kontrol olgusu dikkate alınarak hız değerleri değiştirilebilir.
- Kavşağa giren veya çıkan yolların kavşak merkezine göre sağ tarafta bulunmasına dikkat edilmelidir.

- Kavşak bölgesinde gerekli duruş görüş mesafesi sağlanmalıdır ve şaşırtıcı unsurlar ortadan kaldırılmalıdır.
- Kavşak merkez bölgelerinde ve kavşağa giriş çıkış kesimlerinde trafik denetim ve kontrollerinin çok etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir.
- Kavşak kullanıcı davranışı baz alınarak tasarlanmalıdır. Bunun için kavşak kollarında ve merkezinde kullanıcıyı kararsız bırakacak herhangi bir tasarım bulunmamalıdır.
- Kavşak merkezine bağlanan kollarda merkeze gelmeden önce trafik işaretlemeleri ile gerekli uyarılar yapılmalıdır.
- Art arda yapılacak farklı düzey kavşaklar arasında kent içinde en az 1,5 km kent dışında ise en az 3 km mesafe bulunmalıdır.
- Kavşak merkezinde ve kollarında meydana gelen tüm trafik hareketlerinin güvenli ve kapasiteyi etkilemeyecek şekilde tasarlanması ve yönetilmesi gereklidir (Göktaş 2018).

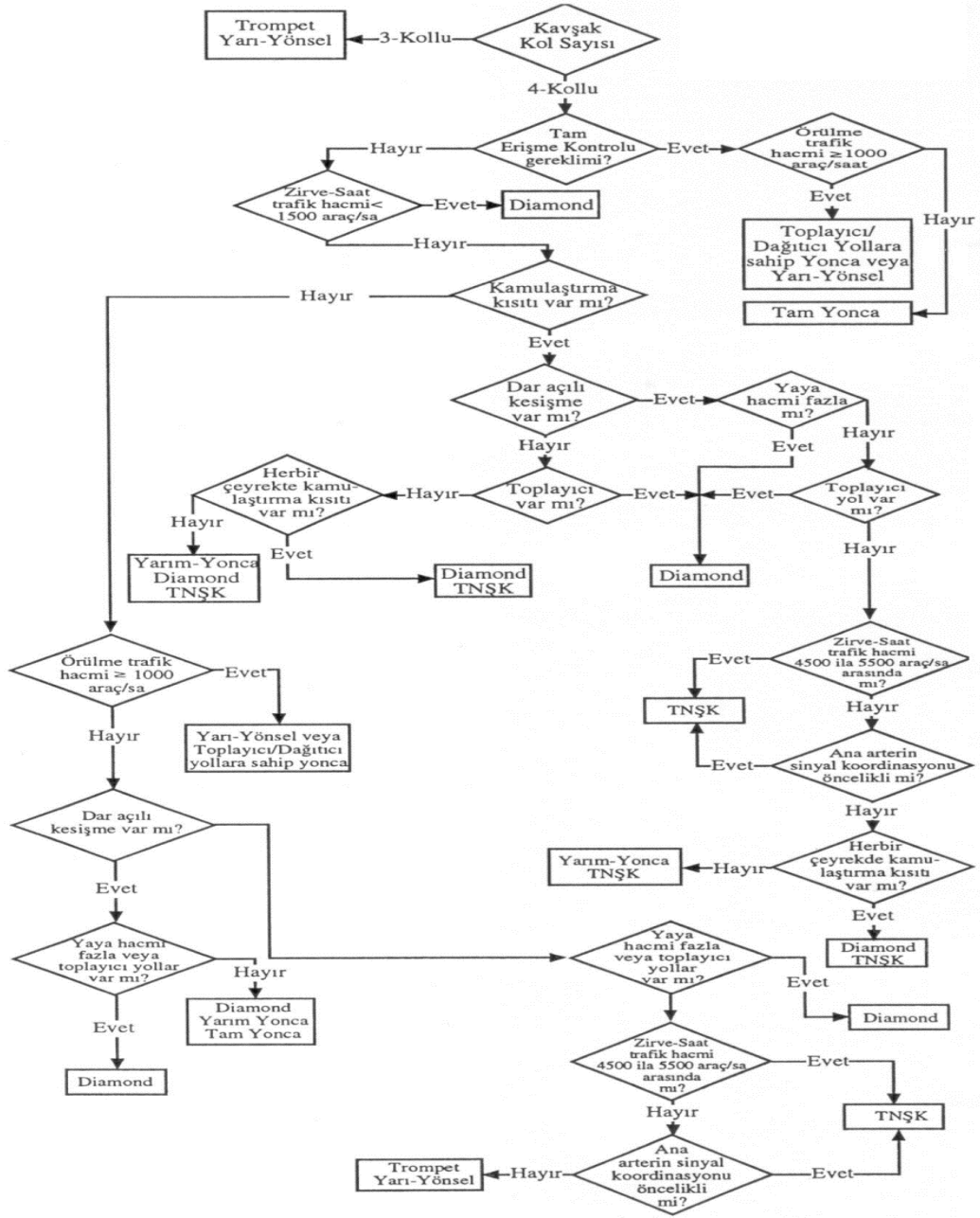
Farklı düzey kavşak seçiminde kavşak tipi ve özelliklerine bağlı olarak Şekil 1.11’de verilen diyagram kullanılabilir.

Yüksek trafik hacmine sahip yollarda farklı düzey kavşak tercih edilmesinin getirdiği bir takım faydalar vardır. Bunlar;

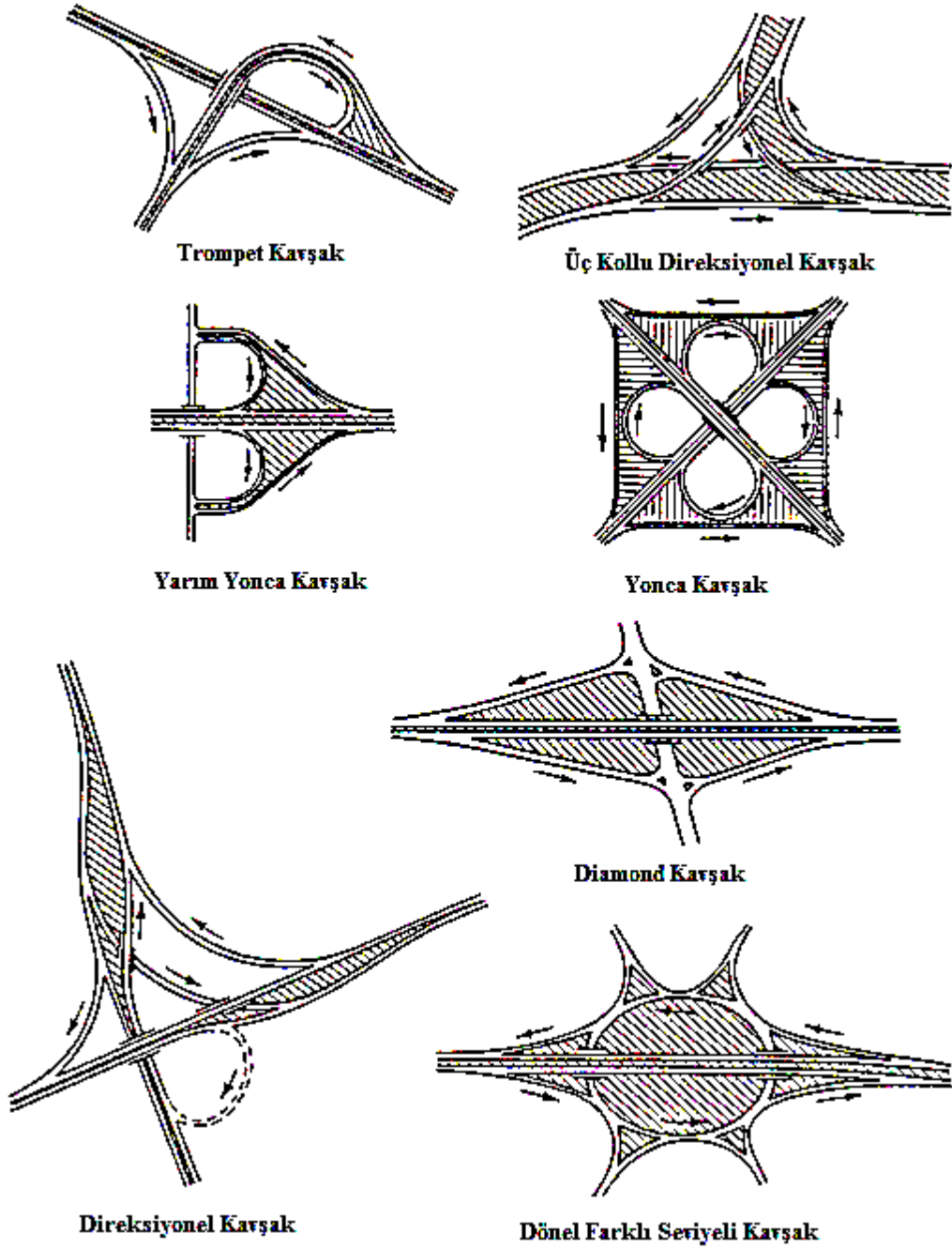
- Gerekli kapasiteyi en iyi şekilde sağlayacak kavşak tipidir.
- Kavşakta tasarımlarında istenen yüksek güvenlik ilkesini en üst düzeyde yerine getiren kavşaktır.
- Kullanıcı konfor derecesi yüksektir.
- Kullanıcı açısından rahat görüş sağladığından dolayı işletme maliyetleri oldukça düşüktür.
- Trafik hareketlerinin yoğunluğu minimize edilmektedir.
- Yapım süreci kademeleri olarak devam edebilir.
- Trafik hacmi yüksek yollarda kesin çözüm sunmaktadır.

Çözüm üretilmesi gereken kavşak bölgesinde standart bir farklı düzey kavşak tipi seçilmemektedir. Daha önce bahsedilen etmenlere ve Şekil 1.11’de verilen diyagrama göre kavşak tipine karar verilebilir. Farklı düzey kavşakların sınıflandırılması aşağıda belirtilmiştir. Farklı düzey kavşak tiplerine göre bazı çeşitleri Şekil 1.12’de verilmiştir.

1. Kol sayısına göre
 - a. Üç kollu farklı düzey kavşak
 - b. Dört kollu farklı düzey kavşak
2. Seviye derecesine göre
 - a. İki katlı farklı düzey kavşak
 - b. Üç katlı farklı düzey kavşak
 - c. Çok katlı farklı düzey kavşak
3. Uygulanan yapı sayısına göre
 - a. Tek yapılı farklı düzey kavşak
 - b. Çift yapılı farklı düzey kavşak
 - c. Çok yapılı farklı düzey kavşak (Koç 2010).



Şekil 1.11. Farklı düzey kavşak tipi seçim diyagramı (KGM 2005)



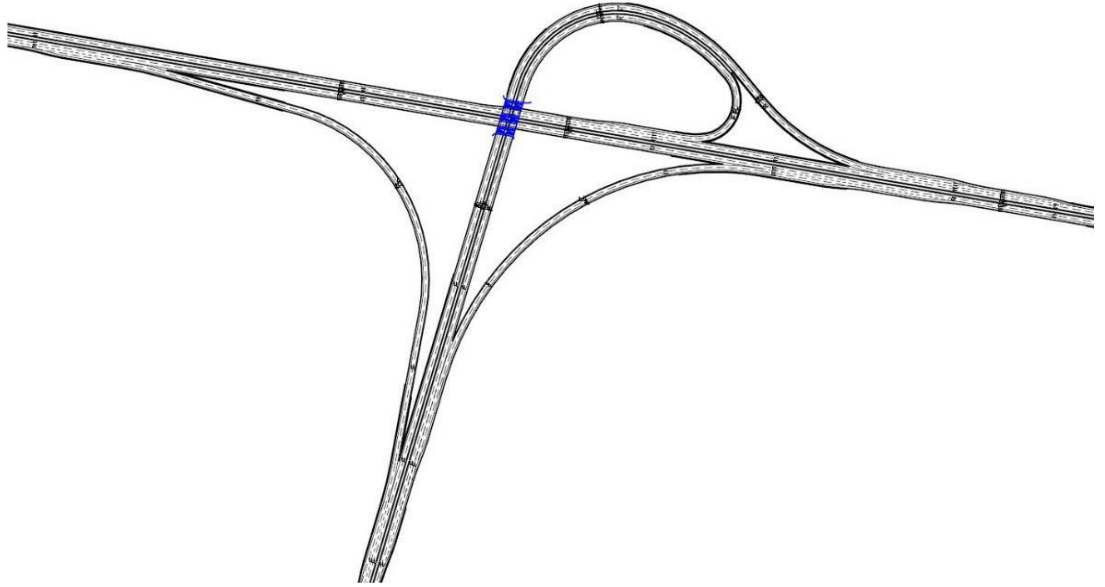
Şekil 1.12. Farklı düzey kavşak tipleri (Tunç 2013)

Farklı düzey kavşak tiplerini birbirinden ayıran çeşitli özellikler mevcuttur. Kavşak karakteristiği oluşturan özellikler kavşak tipi seçiminde önemli rol oynamaktadır. Aşağıdaki bölümde farklı düzey kavşak tipleri ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Üç kollu farklı düzey kavşak

a. Trompet kavşak

Üç kollu farklı düzey kavşak tiplerinden kullanım açısından en yaygın olanı trompet tipi kavşaktır. Bu kavşak tipinde ana yol ile tali yol farklı düzey tasarımı yapılarak birbirinden ayrılmıştır. Trompet tipi kavşaklar taşıt işletme hızı yüksek olan anayollar ile bu yollara göre işletme hızı daha düşük olan yolların kesişimlerinde gerekli kapasiteyi sağlamaktadır. Trompet kavşak tipi ile ilgili görsel Şekil 1.13'de sunulmuştur.



Şekil 1.13. Trompet kavşak tipi

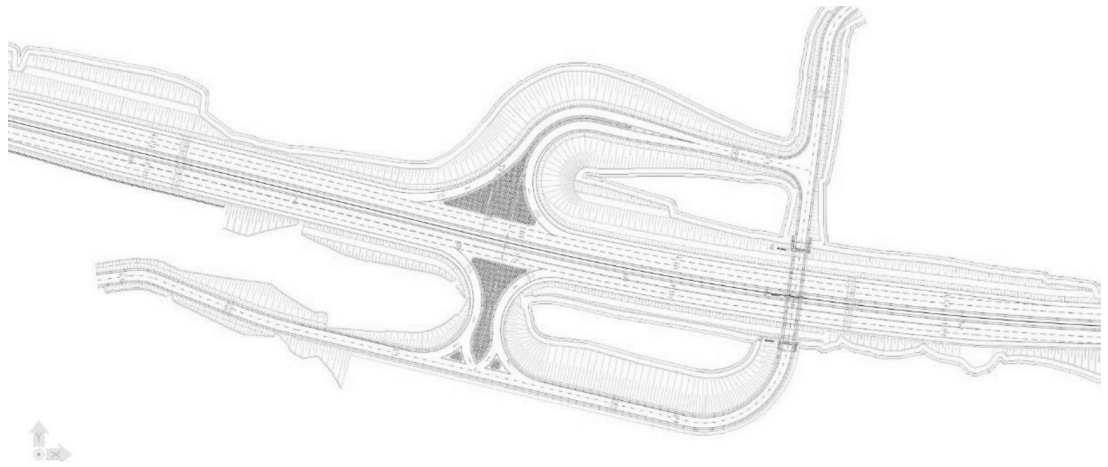
Trompet tipi farklı düzey kavşakların özellikleri, trafik hacmine, kamulaştırma durumuna, demografik ve topoğrafik duruma bağlı kalarak aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

- Yapı sayısı bakımından tek yapıli sistemlerdir.

- Trafik hareketlerinden olan örülme hareketi bu kavşak tipinde görülmemektedir.
- Diğer trafik hareketlerinin serbest akımını sağlayan yüksek kapasiteye sahiptir.
- Kavşak kollarında ve kavşak merkezinde eğim değerinin artmasıyla kapasite düşmektedir.
- Kavşak da işletim hızı düşürülmeden akımın yönetilmesi mümkündür.
- Herhangi bir yeniden düzenleme tasarımına olanak verilmemektedir.

b. Yarım yonca kavşak

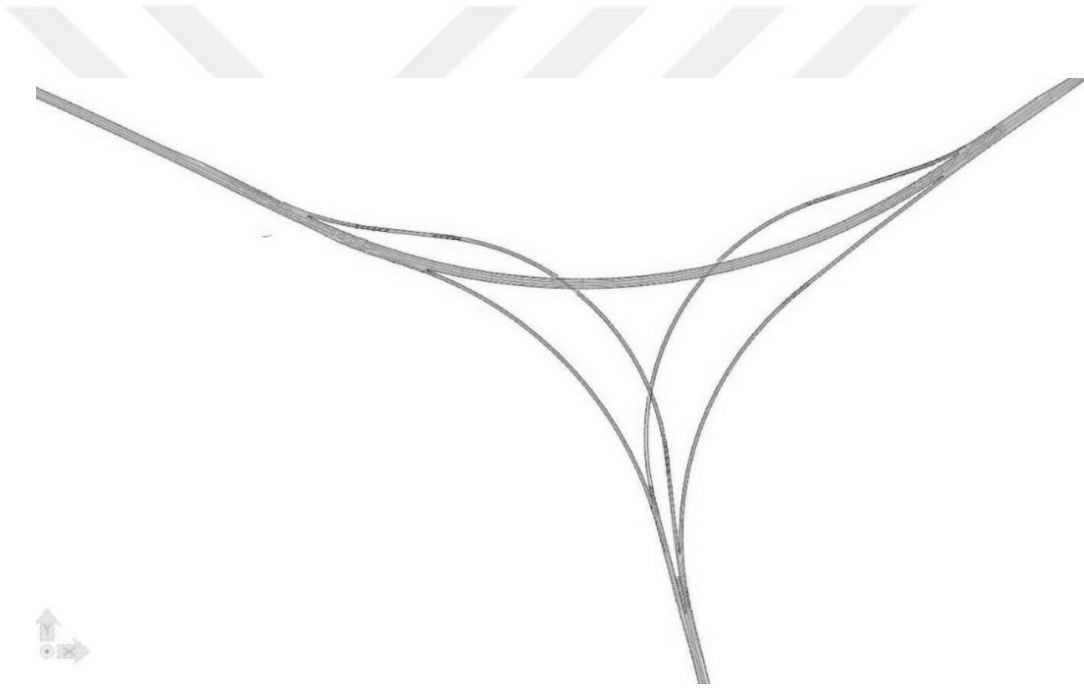
Her iki akım yönünde de sola dönüş hareketlerinin birer lup ve lupların yanında anayol-tali yol bağlantısını sağlayan kollardan oluşan kavşaklara yarım yonca tipi farklı düzey kavşak denir. Tali yoldaki trafik hacminin anayoldaki trafik hacminden düşük olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Trompet tipi kavşakların aksine bu kavşaklarda taşıtların geri dönüş hareketi yapabilmesine olanak verilir. Bu kavşaklarda anayol üzerinde meydana gelen çakışmaları ortadan kaldırırken tali yol üzerindeki örülme hareketine herhangi bir çözüm sunamamaktadır. Gelecek yıllarda tali yol üzerindeki trafik hacminin artması durumunda yarım yonca kavşak tipi üzerinde yeniden düzenlemeler yapılarak geometrik tasarım değiştirilebilmektedir. Şekil 1.14’de yarım yonca tipi farklı düzey kavşağa ait bir görsel sunulmuştur.



Şekil 1.14. Yarım yonca kavşak tipi

c. Direksiyonel kavşak

Trafik hacim değerleri yüksek ve birbirine bütün özellikler bakımından eşit olan iki yolu çakıştırmadan, tüm taşıt dönüş hareketlerini sağlayan farklı düzey kavşak tipine direksiyonel kavşak denir. Bu kavşak tipi farklı düzey kavşaklar arasında en yüksek taşıt işletme hızına, en yüksek kapasiteye, en yüksek güvenlik ve konfor derecesine sahip olmasına rağmen aynı zamanda en yüksek maliyet değerine de sahiptir. Direksiyonel kavşaklarda kesişme ve örülme hareketleri görülmemektedir. Direksiyonel kavşak tipine örnek olarak bir görsel Şekil 1.15’de verilmiştir.



Şekil 1.15. Direksiyonel kavşak tipi

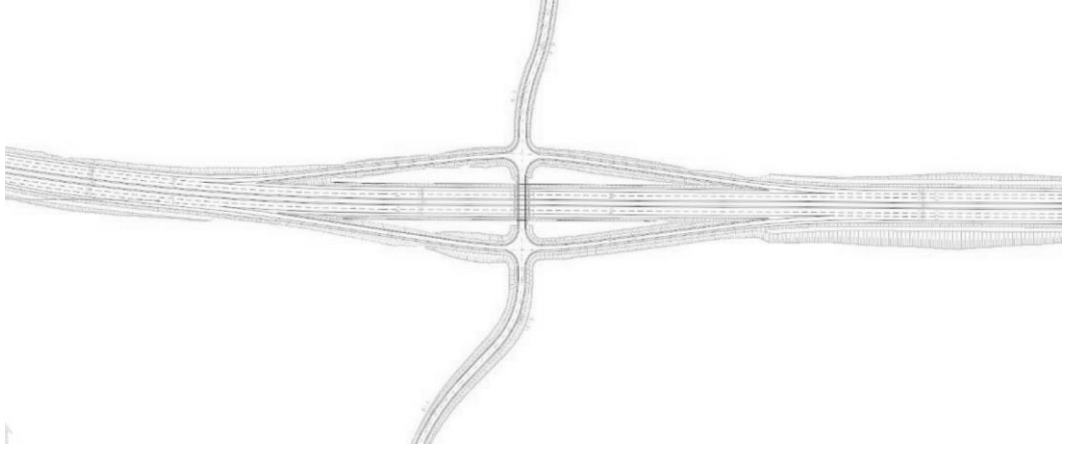
Dört kollü farklı düzey kavşak

a. Diamond kavşak

Diamond kavşak, anayol akımından doğrusal kollar aracılığıyla ayrılma ve katılma hareketlerinin yapılabildiği farklı düzey kavşak tipidir. Bütün kavşak kolları taşıtların sağa ve sola dönüş hareketlerine olanak vermektedir. Yani dört rampadan oluşan bu

kavşak türünde tüm dönüş hareketleri yapılabilir. Şekil 1.16’da diamond kavşak tipine ait bir görsel sunulmuştur. Diamond kavşak tipine ait özellikler şunlardır;

- Kavşağın ilerisindeki giriş ve çıkışlarda yüksek standartlara sahiptir.
- Kullanılan kamu alanı ve yapım maliyeti oldukça ekonomiktir.
- Kavşak ana akımının olduğu kesimlerde örülme hareketi gerçekleşmemektedir.
- Yan yol akımlarında sola dönüş hareketleri belirlenen kapasitenin altındadır.
- Yan yol akımları üzerindeki trafikte kaza riski yüksektir.
- En fazla uygulanan kavşak tipidir.
- Kavşak kapasitesi sınırlı kalmaktadır.
- Tali yol akımından anayol akımına geçiş için kullanılan kavşak kolları ile kesişimlerinde görüş sağlamak zordur.
- Tali yol üzerinde meydana gelen eş düzey kesişimleri istenmeyene trafik hareketlerini meydana getirmektedir.



Şekil 1.16. Diamond kavşak tipi

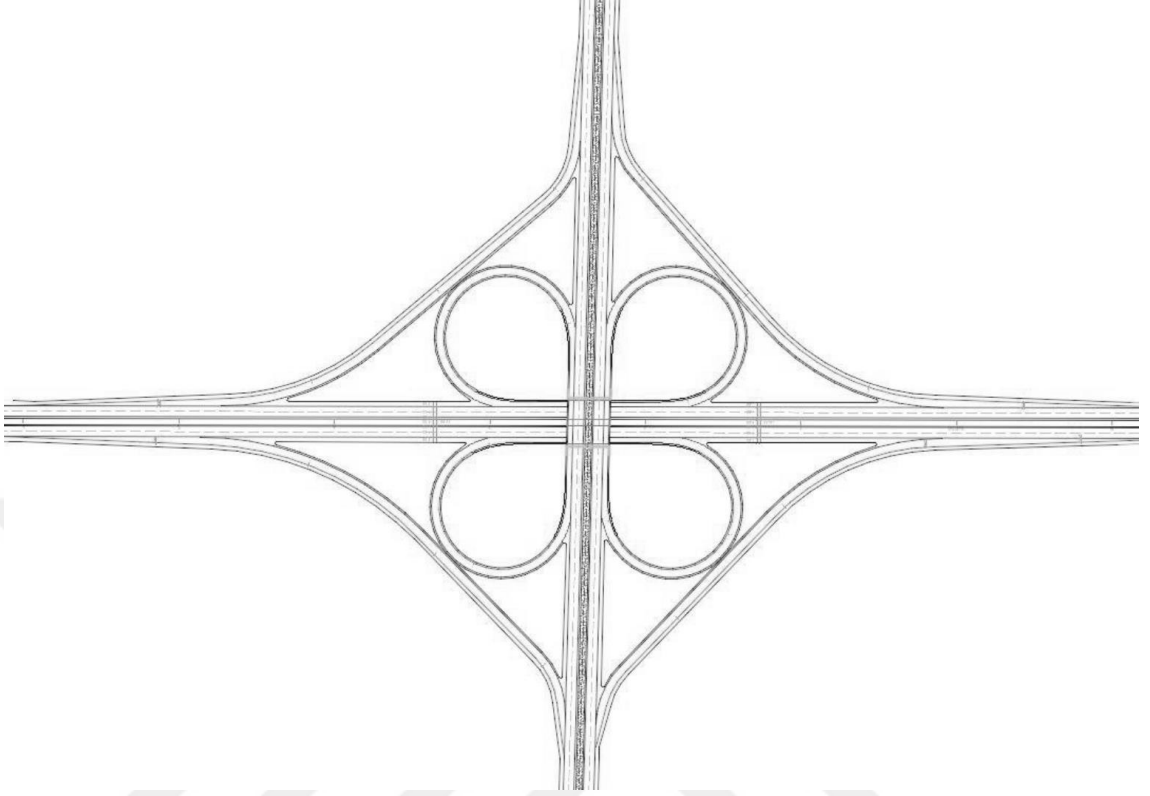
b. Yonca kavşak

Yonca tipi farklı düzey kavşaklar iki yol akımının farklı seviyelerde köprü veya altgeçitler ile kesişme olduğu kavşaklardır. Sola dönüş hareketleri dolayısıyla meydana gelen çakışmaların tamamıyla ortadan kaldırıldığı kavşak tipidir. Genellikle trafik hacim

değerlerinin yüksek olduğu iki yol akımının kesişim bölgelerinde uygulanmaktadır. Anayol-tali yol birleşimlerinde trafiği kanalizasyon için herhangi bir dönel ada tasarımına ihtiyaç duymamaktadır. Yonca kavşağın özellikleri genel olarak şunlardır;

- Yapısal tasarımın tek ölçütte olması, sola dönüş hareketlerini ortadan kaldırmıştır.
- Sinyalizasyon sistemlerine genellikle ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Sinyalizasyon sistemine gerek duyulduğu projelerde yapım aşaması kademeli olarak gerçekleştirilebilir.
- Ana yol ve tali yoldaki örülme hareketleri kritik limit kapasite seviyesindedir.
- Örülme hareketleri için oluşturulan ekstra şeritler maliyeti oldukça artırmaktadır.
- Güvenlik derecesi diğer kavşaklara göre düşüktür.

Yaygın olarak kullanılan bu kavşak tipi direksiyonel kavşak tipi ile birlikte en çok kamu alanı gerektiren kavşaktır. Bu nedenle kent içinde uygulama olasılığının düşük ve maliyetli olduğu söylenebilir. Şekil 1.17'de yonca kavşak tipi ile ilgili bir görsel sunulmuştur.



Şekil 1.17. Yonca kavşak tipi

Yarım yonca kavşak tipi ve direksiyonel kavşak tipi farklı düzey kavşaklar hem üç kollu kavşak tipinde hem de dört kollu kavşak tipinde yer almaktadır. Aralarındaki fark ise tamamen bağlantı kolu yani lup olarak ifade eden akımların sayısıdır.

Trafik yönetiminin etkin yapılabilmesi için çeşitli kavşak tipi tasarımları yapılmaktadır. Farklı düzey kavşak ve eşdüzey kavşak geometrik tasarım olarak ön plana çıkmaktadır. Trafik kontrolünün daha iyi ve daha etkin sağlanması ile yüksek kapasite ve yüksek güvenlik ilkesinin yerine getirilmesi için sinyalizasyon sistemleri kullanılabilir.

1.6. Kavşaklarda Sinyalizasyon

Bir yolda oluşan trafik akımlarının hâkimiyet altına alınması, yaya ve sürücü arasındaki öncelik durumunu belirtmesi, yaya ve sürücülere gerekli uyarıları yapabilmesi, yatay ve düşey trafik işaretlemeleri ile kullanılan, genel olarak renkli ışıklar ile bu durumları

ifade eden işaretlere “sinyal” denilmektedir. Bu şekilde işletilen kavşaklar ise ışıklı kavşak olarak isimlendirilmektedir (Erol 2018). Işıklı kavşakların bir takım avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Kavşak kollarındaki trafik akımlarını kontrol altına alarak düzenlenmesi,
- Kavşak kollarında oluşan trafik tıkanıklığının önüne geçilmesi,
- Trafik sıkışıklığına engel olarak kavşak kapasitesinin artırılması,
- Kavşakta yönetim elemanı olarak kullanılmasından dolayı kaza sıklığının azaltılması,
- Kaza sıklığındaki azalma ile yaya ve sürücü güvenliğinin artırılması,
- Yollar arası trafik geçişlerinde kolaylık sağlaması.

Sinyalizasyon kavramları

Sinyalizasyon sitemlerinde birçok temel kavram bulunmaktadır. Bu kavramlar aşağıda belirtildiği gibidir.

Devre: Kavşaklarda bulunan kollardan yapılan tekrarlı geçiş evresidir.

Devre süresi: Kollardaki trafik akımına ait geçiş hakkının verildiği süre olarak ifade edilmektedir.

Faz: Kavşakta bulunan kollardan en az birisine tanınan geçiş süresinin toplamına denmektedir.

Yeşil süre: Bir fazda, kollardaki geçiş hakkı olarak verilen süreye denmektedir.

Sarı süre: Bir fazda, kollardaki trafik akımının kalkış ve duruş yapması için gereken süreye denmektedir.

Kırmızı süre: Bir fazda, kollardaki taşıtların beklemesi için gereken süreyi ifade etmektedir.

Flaş: Uyarıcı niteliği taşıyan, düzenli olarak yanan sönen sinyal türüdür.

Kırmızı flaş: Herhangi bir yol ağından başka bir yol ağına geçiş esnasında taşıtın durup gerekli denetimleri yaptıktan sonra geçebileceğini ifade etmektedir.

Sarı flaş: Herhangi bir yol ağından başka bir yol ağına geçiş esnasında taşıtın durmadan yavaşlayarak gerekli kontrolleri yapması gerektiğini ifade etmektedir.

Yeşil flaş: Yeşil sinyal süresinin bitmek üzere olduğunu ve kavşaktaki durumu göre yavaşlaması ve durmasını gerektiğini ifade etmektedir.

Faz düzeni: Kavşak kollarında oluşan trafik akımlarının geçiş sıralamasının belirlenmesidir.

Genel olarak bir kavşaktaki sinyalizasyon sistemlerinin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için trafik akımlarının, kavşağa uygun faz ve devre düzeninin uygun bir şekilde hesaplanarak düzenlenmesi gerekmektedir.

Literatür ve yönetmeliklerin incelenmesi sonucunda bir kavşağın ışıklı kavşak olarak tasarlanabilmesinde bir takım koşullar bulunmaktadır.

- Kent içindeki yollarda her bir şeritten geçen trafik hacminin 750 ta/sa değerinden az olmaması,
- Kontrolsüz kavşaklarda oluşan kaza sayısında en 5 kazanın ışıklı kavşaklarda yaşanmaması,
- Zirve saatlerde kavşak kollarının 250'den fazla yayanın kullanması ve bu kollarda oluşan trafik hacminin 600 ta/sa'den fazla olması.

Bu koşulların yerine getirilmesi ışıklı kavşanın tek başına istenilen verimde çalışmasına yeterli değildir. Kavşak kollarındaki trafik hacimlerinin ve dönüş oranlarının belirlenmesi ve bu duruma uygun olarak faz planlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Işıklı kavşaklar, denetimli kavşaklar olarak da ifade edilmektedir ve bu denetimi yerine getirmek için farklı sistemler kullanılmaktadır. Bu kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon sistemleri iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar izole ve koordine sinyalizasyon sistemleri olarak isimlendirilmektedir.

1. İzole Sinyalizasyon Sistemi

Bu sistem ile donatılmış kavşakların çalışma prensibi, kendisinden önce ve sonra gelen kavşakların birbirinden bağımsız olarak çalışmasıdır. Diğer kavşaklarda var olan trafik hacim değeri ve trafik sıklığı gibi parametreler izole sinyalizasyon sistemi ile çalışan kavşakları ilgilendirmemektedir. İzole sistemler dört ana başlık altında toplanmaktadır.

- a. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi
- b. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi
- c. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi
- d. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi

İzole sistemlerde en sık sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır.

a. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi

Kavşak kollarında bulunan taşıt ve yaya trafiğini var olan sinyal süreleri kullanılarak sıra ile geçiş hakkı veren sistemler olarak ifade edilmektedir. Bu sistemlerin kullanıldığı kavşaklarda yeşil ışık süreleri kollarında var olan trafik hacmi ile orantılı olarak belirlenmektedir. Sistemin başarılı olabilmesi için trafik sayımlarının dikkatli ve doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

b. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Genellikle kavşaklarda araç ile yaya etkileşimini kontrol altına almak için kullanılmaktadır. Kavşak olmayan yaya geçitlerinde de kullanılmaktadır. Yayaların güvenli bir şekilde geçiş haklarını kullanabilmesi için yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemleri uygulanmalıdır. Şekil 1.18’de yayalar için geçiş hakkı isteme butonları gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi

c. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi

Bu sistemler özellikle sabit zamanlı olarak yönetilen kavşaklarda bazı zamanlarda trafik akımlarının normalden farklı olarak büyük saptmalar ve dalgalanmalar gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu sistem, taşıt ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte ancak düzenleme talebi dış gözlem yapılarak belirlenmektedir (Karaşahin 2014).

d. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Trafik uyarmalı sistemler yarı ve tam trafik uyarmalı sistem olarak ikiye ayrılmaktadır.

1. Yarı-trafik uyarmalı sistem

Bütün kavşak yaklaşım kollarından sürekli olarak uyarı alınarak geçiş hakları ve süreleri kollarında var olan trafik hacmine göre otomatik olarak değiştirilmektedir.

2. Tam-trafik uyarmalı sistem

Kavşakta var olan kollardaki anlık trafik oluşumunu uyarı olarak merkeze ileterek geçiş hakkı ve sürelerini kavşaktaki gecikme ve sıkışıklık en az olacak şekilde otomatik olarak düzenleyen sistemlerdir. Bu sistemler kavşak yönetiminde kullanılacak en ideal sistemler olarak gösterilmektedir.

2. Koordine Sinyalizasyon Sistemi

Kavşaklar arasında bağımlılık yani kendinden önce ve sonra gelen kavşaklar ile bağlantılı bir şekilde çalışan sistemler olarak ifade edilmektedir. Bu sistemler genel olarak gecikme değerlerini en aza indirmek için anayol üzerinde bulunan kavşaklarda kullanılan sistemlerdir. Bu sistemin ana amacı iki kavşak bağlantısı arasında kesintisiz bir trafik akışının olmasıdır.

Sinyalizasyon ile kontrol edilen kavşakların amacı sadece taşıt ve yayaların güvenliğini sağlamak değildir. Bununla birlikte yüksek kapasiteli hizmet verilmesinde amaçlanmaktadır. Mevcut kavşak tasarımlarının geometrik açıdan iyileştirme yapılmasından sonra kullanılan sistemlerdir. Sinyalizasyon sistemlerinin trafiğe faydaları ve zararları bulunmaktadır.

Sinyalizasyon sistemlerinin faydaları;

- Taşıtların diğer trafik bileşenleri ile kesişme bölgelerinde trafik güvenliğini ve akış düzenini sağlamaktadır.
- Sinyalizasyon sisteminin uygun yerleştirilmesi ve yönetilmesi ile kavşak kapasitesi artmaktadır.
- Taşıtların dik açı ile çarpışmalarını önlemektedir ve bunun haricinde trafik kaza riskini önemli derecede azaltmaktadır.
- İki kavşak arasındaki mesafenin 700 m'yi geçmemesi durumunda birbiriyle koordineli çalışan kavşak tasarımı yapılarak trafik akımının sürekliliği sağlanmaktadır.
- Trafik hacim değerleri açısından farklı olan yolların trafik hareketlerini düzenleyerek trafik kaza riskini azaltmaktadır.
- Kapasite artırımı yöntemi olarak görülen sinyalizasyon sistemleri ekonomik bir çözüm sağlamaktadır (Koç 2010).

Sinyalizasyon sisteminin yanlış yönetilmesi sonucunda çeşitli problem meydana gelmektedir. Bu durumda sinyalizasyon sistemlerinin trafik akımına faydasından ziyade zararları bulunmaktadır. Sinyalizasyon sisteminin neden olabileceği zararlar;

- Trafik hacminin düşük olduğu kavşak kollarında gereksiz bekleme sürelerine ve yakıt tüketiminin artmasına neden olur.
- Dur-kalk işlemi fazlasıyla yapıldığı için trafik kazalarının sayısı artabilir.
- Sürücü psikolojisi düşünülerek planlanmayan sinyalizasyon sistemleri, kullanıcıyı kuralları çiğnemeye yöneltebilir.

Ancak doğru bir planlama yapılarak çok ekonomik bir maliyetle trafik akımında meydana gelen gecikmeler, tıkanıklıklar, fazla yakıt tüketimi, hava kirliliği gibi durumların önüne geçilebilmesi mümkündür. Sinyalize kavşaklarda sinyalizasyon tasarımı yapılırken göz önüne alınması gereken en önemli unsurlardan biri trafik akımı, kuyruk oluşumu-uzunluğu ve trafik gecikmelerinin ilişkilerinin belirlenmesidir.

Giriş bölümünde anlatılanlar dikkate alındığında günümüzde kavşak tasarımlarının trafik akımı üzerindeki etkilerinin çok yüksek seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle özellikle kavşak geometrik tasarımları ve sinyalizasyon sistemleri kullanılarak kavşakların trafiğe ait değerlendirme verilerinde iyileştirme yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında da bu değerlendirmeler dikkate alınarak kavşak geometrik tasarımı ve sinyalizasyon sistemleri ile koridor iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Bu tez çalışması toplam 5 bölümden oluşmaktadır.

1. Giriş
2. Kaynak Özetleri
3. Materyal ve Yöntem
4. Araştırma Bulguları
5. Sonuç ve Tartışma

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Trafiği oluşturan etmenlerin çoğunluğunun kesişme bölgesi olan kavşaklar, trafik adına yapılan bütün iyileştirme çalışmalarında göz önüne alınmalıdır. Trafik hacimlerine ve mevcut koşullara uygun kavşak seçimi bu iyileştirmeler için büyük önem arz etmektedir. Kavşak geometrik tasarımı ve sinyalizasyon sistemleri ile kavşak iyileştirmesinin ve dolayısıyla trafik iyileştirmesinin yapılması mümkündür. Bu bağlamda çeşitli kavşak geometrik tasarımları ve farklı sinyalizasyon sistemleri kullanılarak kavşakların performansı ölçülmektedir. Kavşakların tasarımları PTV Vissim gibi mikro simülasyon programları ile yapılırken, kavşakların performans değerlerine göre karşılaştırılma işlemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu doğrultuda ÇKKV yöntemleri ve Vissim mikro simülasyon programları kavşak tasarımları ve ulaşım adına problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmalar ve kavşak ile ilgili diğer literatür araştırmaları aşağıda yer almaktadır.

Atalay, (2004) Erzurum ilinde ele alınan iki kavşak bölgesinde meydana gelen taşıt gecikme değerlerini incelemiştir. Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) ile bu kavşak bölgelerindeki taşıt gecikmeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Belirlenen trafik değerleri kullanılarak Sinyal Simülasyon Modeli (SSM) 50-60 sn aralıklarla gecikme değerleri üretilmiştir. SSM değerleri kullanılarak ANFIS ile taşıt gecikme tahminleri yapılmıştır ve mevcut gecikme formülleri olan Webster, Doherty ve Highway Capacity Manual (HCM) ile karşılaştırılmıştır. ANFIS tahmin modelinden üretilen gecikme değerlerinin SSM ve diğer gözlem yöntemlerinden elde edilen gecikme değerlerine yakın gecikme tahmini yaptığı görülmüştür.

Mandavilli *et al.* (2008) geleneksel kavşak tipleri ve modern dönel kavşakların çevre üzerindeki etkileri incelemiş ve kıyaslamışlardır. Bunun için farklı trafik yoğunluğa sahip geleneksel kavşak tiplerinin mevcut olduğu 6 bölge belirlenmiştir. Bu bölgelerdeki trafik verileri kullanılarak SIDRA programında benzetim yapılmıştır. Benzetim sonucunda HC, CO, NO_x ve CO₂ emisyon değerleri geleneksel ve modern

dönel kavşak için kıyaslanmıştır. Karşılaştırma yaparken bir istatistiksel model kurulmuştur. Sonuç olarak CO emisyonunda ortalama olarak %32, CO₂ emisyonunda %38, NO_x emisyonunda %34 ve HC emisyonunda %42'ye yakın iyileşme gözlemlenmiştir.

Zheng, (2008) akıllı ulaşım sistemlerinin teknolojiye bağlı olarak gelişmesiyle trafik verilerinin ölçülmesi ve bu ölçümlerin tasarımda kullanılmasının öneminden bahsetmiştir. Bu amaç doğrultusunda seçilen bazı kavşak noktalarında, taşıt gecikmesini, kuyruk uzunluğunu ve sinyal döngü arızasının tespiti için bir ölçüm sensörü çalışması yapılmıştır. Bu veriler sensör aracılığıyla toplanarak kavşakların performans çalışmalarının yapılabileceği ve bir örneği çalışmada sunulmuştur.

Alçelik, (2010) bir kesişim bölgesinde kullanılacak kavşak tipinin seçimini ve tasarım kriterlerini incelemiştir. Ayrıca sinyalizasyon ve dönel kavşaklar özel olarak irdelenmiş olup mevcut örnekler üzerinde kapasite karşılaştırılması yapılmıştır. Benzetim programı aracılığıyla İstanbul Ümraniye'de bulunan dönel kavşak ve sinyalizasyon kavşak içeren iki karayolu koridor kesimi gerçeğe uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Farklı kavşak noktalarında farklı sonuçlar elde edilmiştir ve sonuç bölümünde bunlara yer verilmiştir.

Aksoy, (2011) çalışmasında geleneksel kavşak kontrol sinyalizasyon sistemleri ile adaptif kontrol sistemlerin karşılaştırılması için bir benzetim programı aracılığıyla Kayseri ilinde bulunan bir kavşak üzerinde değerlendirmeler yapmıştır. Benzetim programı sonucunda seyahat süresi, ortalama araç hızı, ortalama araç gecikmesi, ortalama kuyruk uzunluğu, yakıt tüketimi ve CO emisyonu parametrelerinde iyileşmeler görüldüğü ancak, seyahat uzunluğu parametresinde düşük oranda bir kötüleşme olduğu gözlemlenmiştir.

Culum, (2013) tez çalışmasında sinyal sürelerinin optimizasyonu üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur. İstanbul'un Pendik ilçesinde dikkate alınan bir kavşak üzerinde yapılan sayımlar neticesinde benzetim programı sayesinde kavşak tasarımı oluşturulmuştur. Bu sayede optimizasyon öncesi ve sonrası çevresel faktörlerin

karşılaştırması yapılmıştır. Yakıt miktarı, HC emisyonu, CO emisyonu ve NO_x emisyonu parametrelerinin nasıl değiştiğini irdelenmiştir. Ayrıca optimizasyon sonrası kavşağı kullanan araç sayısındaki değişiklikte belirlenmiştir.

Gündoğan *et al.* (2014) İSBAK tarafından geliştirilen bir adaptif kontrol sistem mekanizması olan ATAK sistemini incelemişlerdir. İncelenen bu sistemde hem genetik algoritma hem de bulanık mantık kullanılmıştır. Genetik algoritma sinyal sürelerinin optimizasyonu, bulanık mantık ise trafik kontrol cihazlarının çalışması sırasında oluşabilecek istisnai durumları kontrol etmek için kullanılmaktadır. İstanbul ilinde çeşitli arterlerde yapılan çalışmalar sonucunda, ATAK sistemi geleneksel kavşak yönetim sistemlerine göre, döngü süresinde yaklaşık %10 ve seyahat süresinde yaklaşık %15 iyileştirme sağlamıştır.

Çakıcı, (2014) sinyalize dönel kavşaklar ile modern dönel kavşakların performans parametrelerine dayalı bir karşılaştırmalı analiz yapmıştır. Çalışmada sinyalize kavşak, dönel kavşak ve sinyalize dönel kavşakların hem geometrik tasarımlarına da hem de sinyalizasyon esaslarına yer verilmiştir. Saha çalışmaları ve mikro simülasyon programında trafik gecikmesi üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma yapılan kavşak bölgesinde trafik iyileştirmeleri açısından çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Şengül vd (2015) çalışmada belediyelerin toplu taşıma taşıt seçiminde etkili olan bazı kriterler belirlenmiştir ve değerlendirmeye alınan alternatifler ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) aracılığıyla karar mekanizması modeli kurulmuştur. Kurulan modelde kullanılan kriterler; fiyat, yolcu kapasitesi, tüketilen yakıt, motor tipi, garanti, motor gücü, marka değeri ve ekonomik ömür olarak dikkate alınmıştır. Super Decision programı kullanılarak çözümlenen karar problemi modelinde 4 numaralı alternatif hem kareli ortalama hem de Kwong-Bai sıralama yöntemine göre en iyi alternatif olarak bulunmuştur.

Li *et al.* (2015) tarafından yapılan bu çalışmada otonom araçların kavşaklardaki durumu incelenmiştir. ACUTA adında yeni bir kavşak kontrol düzeneği tasarlayan araştırmacılar, bu düzenek sayesinde otonom araçların kavşağı rezervasyon sistemi ile geçmesini ve boşaltmasını sağlamışlardır. Çalışmanın devamında yeni tasarlanan kavşak kontrol yöntemi ile geleneksel kavşak kontrol yöntemi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda geleneksel sisteme göre yeni sistemde CO ve partikül madde 2.5 emisyonlarında, düşük ve orta hacim durumlarında %5 yüksek hacim durumlarında ise %3'e kadar iyileştirme sağlandığı görülmüştür. Aynı zamanda, yakıt tasarrufunda düşük ve orta hacimde %4 tasarruf sağlarken bu oran yüksek hızlarda %12 dolayındadır. Ayrıca ACUTA sisteminin koridor seviyelerinde uygulanması incelenmiştir.

Guerrieri *et al.* (2015) yaptıkları çalışmada konvansiyonel dönel kavşak, turbo dönel kavşak ve tüm kollarda sağa dönme şeridi bulunan dönel kavşak göz önüne alınan değerlendirme parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak taşıt gecikmeleri ve kirlilik emisyonları seçilmiştir. Karşılaştırma sonucunda turbo dönel kavşağın diğer alternatiflerden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Kılıç Delice, (2016) yaptığı çalışmada belirlenen 5 alternatif havayolu firması için bir karşılaştırma modeli kurmuştur. Bunun için Kano Modeli, Bulanık VISeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) ve Bulanık Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) kullanılmıştır. Çalışmada içlerinde akademisyen ve havayolu personelinden oluşan 12 kişilik bir karar verme takımı kurulmuştur. Model kurulurken 5 alternatifin karşılaştırılması için toplam 10 kriter kullanılmıştır. Müşterilerin isteklerine göre müşteri memnuniyet anketi ölçümleri ile en önemli kriter Kano Modeli ile belirlenmiştir. Müşteri memnuniyet anketleri için 19-35 yaş aralığında lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencilerinden oluşan bir grubun seçilmesi uygun görülmüştür. Bunun sebebi ise 40-50 yıllık dilim sürecinde bu grubun potansiyel müşteri olacağı öngörülmüştür. Bu bağlamda 180 kişiye yapılan anketlerin 106 tanesi geçerli sayılmıştır ve bu anketlerin güvenilirliği ve analizleri için SPSS paket programı kullanılmıştır. Çalışmanın diğer kısmında Bulanık VIKOR ve Bulanık

TOPSIS ile sıralama yapılmış ve en uygun alternatifin seçimi yapılmıştır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan bir farkı ise ilk defa Kano Modeli, Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS bir arada kullanılarak yeni bir Bulanık ÇKKV yöntemi geliştirilmiştir.

Çakıcı ve Murat (2016) sinyalize dönel kavşakları inceleme altına almışlardır. Sinyal devre süreleri ve faz planları için bir hesap yaklaşım çözümü önerilmiştir. Çalışmanın etkinliğini artırmak için, farklı tip kavşaklar ve farklı faz planları Vissim programı sayesinde tasarlanıp taşıt gecikmesi bakımından karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir. Toplam 12 farklı trafik senaryosu ve 8 farklı durum simülasyon programı aracılığıyla tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, sola dönüş miktarı arttıkça, faz sayısı artışından dolayı bu tip yerlerde sinyalize kavşaklardan ziyade diğer alternatiflerin daha etkin bir çözüm olacağı kanısına varılmıştır.

Korkmaz (2016) yaptığı çalışmada yapay zekâ tekniklerinden olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA) kullanılarak kavşaklardaki gecikmeler üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Gecikme üzerinde en çok etkili olduğu düşünülen; devre süresi, yeşil süre, hacim, doygunluk akımı ve periyod parametreleri kullanılarak bir gecikme modeli tasarımı yapılmıştır. Farklı formlarda gecikme modelleri ortaya konup bunlar DGA ve YAKA ile optimize edilmiştir. Elde edilen modellerin performansları analitik yöntemlerden HCM ve Avustralya modeli ile karşılaştırılmıştır.

Baric *et al.* (2016) Hırvatistan'ın Split şehrinde bir koridor üzerinde yer alan 4 kavşağın tasarımı için önemli olan ana ve alt parametreleri belirlemişlerdir. Ana parametreler; işlevsel verimlilik, trafik-teknik-teknolojik, güvenlik, maliyet ve çevreyle ilgili faktörlerdir. Alt parametre olarak ise toplam 24 kriter seçilmiştir. Çalışmada ana parametrelerin ağırlıklandırılmalarında AHP yöntemi kullanılmıştır. Buna göre işlevsel verimlilik en önemli parametre çıkarken, çevreyle ilgili faktörler en az öneme sahip parametre olarak belirlenmiştir.

Rahimov *et al.* (2016) yaptıkları çalışmada dönel kavşaklar ile Pinavia tipi kavşakların karşılaştırılması yapılmıştır. İki kavşak tipi de AIMSUN simülasyon programı aracılığıyla tasarlanmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak, trafik yoğunluğu, kirletici emisyonlar, yakıt tüketimi, seyahat süresi, gecikme süresi, yapım maliyeti, onarım ve bakım maliyeti, seyahat süresi maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve güvenlik alınmıştır. Teknik değerlendirmede trafik yoğunluğu, kirletici emisyonlar, yakıt tüketimi, seyahat süresi ve gecikmesi süresi iki grup veriyi karşılaştırmak için kullanılan iki bağımsız örneklem t- testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ekonomik değerlendirmede yapım maliyeti, bakım ve onarım maliyeti, seyahat süresi maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve güvenlik parametreleri AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Bu karşılaştırmaların sonucunda 20 yıllık bir süreç için Pinavia tipi kavşakların dönel kavşaklara göre %49 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Abret, (2016) koridor üzerinde dikkate alınan 3 kavşak için çeşitli senaryolar geliştirmiştir. Mevcut durum ve oluşturulan senaryolar ÇKKV yöntemlerinden AHP kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu 3 kavşak için dikkate alınan kriterler; ortalama gecikme, seyahat süresi, kuyruk uzunluğu, yakıt tüketimi, CO emisyonu ve trafik güvenliğidir. Bu kriterler baz alınarak koridor üzerindeki bütün kavşakların modern dönel kavşak olması en iyi alternatif sonucunu vermiştir. Bununla birlikte çeşitli alternatifler uygulanarak seyahat süresinde %35, gecikmelerde %85, CO salınımı ve yakıt tüketiminde %50'lere varan iyileştirme yapılabildiği görülmüştür. Ayrıca aynı senaryolar, bu koridordaki 2035 yılı tahmini trafik verilerine göre uygulanmıştır.

Murat *et al.* (2016) kavşak tiplerinin karşılaştırmasını AHP yöntemi kullanarak yapmışlardır. Sola dönüş olmayan sinyalize, sola dönüş olan sinyalize, dönel kavşak ve eş düzey olmayan kavşak olmak üzere toplam dört farklı kavşak tipi dikkate alınmıştır. Kavşak tipinin seçilmesi için dikkate alınan kriterler; yakıt tüketimi, emisyon oranı, gecikme, kavşak tipinin maliyeti (inşa ve işletme maliyeti) ve trafik güvenliği parametreleridir. Bu çalışma için Denizli ilinde yer alan YOGT'i 25 000 taşıt olan bir kavşak bölgesi dikkate alınmıştır. Bu bölgede bahsedilen dört farklı kavşak tipi SIDRA Intersection programı aracılığıyla benzetimi yapılmıştır. SIDRA Intersection programı

çıktıklarına en iyi performanslar sırasıyla; dönel kavşak, eşdüzey olmayan kavşak, sola dönüş olmayan sinyalize kavşak ve sola dönüş olan sinyalize kavşak olarak gözlemlenmiştir. Çalışmada sinyalize olmayan kavşakların daha iyi performans değerlerine sahip olması bu tip kavşaklarda kesintinin çok az veya hiç olamamasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Özellikle AHP metodunda ikili karşılaştırma matrislerinin kurulması için 2. Karayolları Bölge Müdürlüğü Denizli şubesinde 8 trafik mühendisi çalışmaya dahil edilmiştir. Yapılan AHP değerlendirmesinin sonucunda ağırlıklarına göre seçilmesi en makul olan kavşak tipinin sırasıyla; dönel kavşak, sola dönüşü olan sinyalize kavşak, sola dönüşü olmayan sinyalize kavşak ve eş düzey olmayan kavşak sonucuna varılmıştır. Dönel kavşak tasarımında çakışma bölgeleri fazla olmasına rağmen diğer kriterlerde iyi sonuç verdiği için bu kavşak tipi seçilmiştir. Eş düzey olmayan kavşak tipinin ise en önemli dezavantajı maliyet olarak öne çıkmaktadır.

Hacıoğlu, (2017) otonom araçların kavşak kullanma performanslarının ve sıralamalarının enerji kaybı esas alınarak incelemesini yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda 3 farklı temel esasa dayanarak otonom araçların kavşağı kullanma sıralamaları üzerine bir benzetim modeli kurulmuştur. İlk olarak kavşakta muhtemel kaza noktaları belirlenerek bu noktalara uygun olarak araçların geçiş sıralamaları belirlenip bunun üzerine bir maliyet fonksiyonu oluşturulmuştur. Diğer bir sıralama yöntemi ise gecikmeyi minimize edebilmek için uygulanan yöntemdir. Bu yöntemde gecikmelerden kaynaklanan enerji kayıplarını hesaplanmıştır. İlave olarak, otonom araçların kavşaktan geçerken hızlanma ve yavaşlanma hareketleri sırasında harcayacakları ekstra enerji kaybı da bu hesaplama dâhil edilmiştir. Son yöntemde ise birinci ve ikinci maliyet fonksiyonlarının belirli oranda birleştirilerek oluşturulan yeni bir maliyet fonksiyonu ile benzetim programının oluşturulmasıdır. Sonuç olarak, birleşik maliyet fonksiyonu temel alınarak oluşturulmuş kavşak yöntemi, gecikmelere bağlı seçime göre daha az enerji kaybı sağlamasına rağmen daha fazla zaman kaybına neden olmaktadır. Öte yandan enerji kaybına bağlı oluşturulan yöntemde ise daha az zaman kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Hamurcu ve Eren, (2017) yaptıkları çalışmada Analitik Ağ Süreci (ANP) ve AHP yöntemleri kullanılarak, İstanbul ili için raylı sistem projelerinin seçiminde ağırlıklandırma ve sıralandırma işlemi yapmışlardır. Toplam 6 raylı sistem hattında 8 proje için 4 ana ve 12 alt kriter dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. AHP ve ANP ile yapılan sıralamanın birbirinden farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Daha sonra bütçe, en uzak mesafelere erişim, en fazla noktayı birbirine bağlama ve en kısa seyahat süresi ölçütlerini sağlaması için bir hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Hedef programlama modelinde toplam 2 farklı karar verme metodu ve 3 değişik bütçe senaryosu irdelenmiştir.

Erol (2018) tez çalışmasında ilk olarak Emniyet kavşağı olarak adlandırılan kavşağın mevcut hali mikro simülasyon programı olan Vissim ile benzetimini yapmıştır. Benzetimi yapılan kavşağın performans değerleri analiz edilmiştir. Mevcut durumda daha iyi performans elde etmek amacıyla kavşağın mevcut ışık süreleri TRANSYT-7F ile optimize edilmiştir ve daha sonra faz planlarında da değişikliğe gidilerek yeniden kavşağın performans değerleri incelenmiştir. Daha sonra bu kavşağın kontrol türü değiştirilerek modern dönel kavşak olarak tasarlanmıştır ve bunla ilgili performans değerleri de elde edilerek incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümü olarak mevcut durumda modern dönel kavşak kontrol yaklaşımı kullanılan Albayrak Kavşağı'nın Vissim mikro simülasyon programında benzetimi sırasında sürücü davranışlarını temsil eden etmenlerin en optimum değerlerini belirleyebilmek için iki seviyeli bir algoritma geliştirilmiştir ve kalibrasyonu yapılmıştır. Ayrıca kullanılan sürücü parametreleri ile Albayrak kavşağı daha sonra ışıklı kavşak olarak tasarlanmış ve performans değerleri incelenmiştir. Her iki kavşak içinde trafik hacmi, sola dönüş oranı ve ağır taşıt oranı parametrelerine bağlı olarak üç farklı tasarım yapılmıştır ve performans değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modern dönel kavşak kontrol türünün, trafik hacminin belirli bir değerine kadar gecikme ve hız etmenleri açısından ışıklı kavşak kontrol türünden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Saplıoğlu and Aydın (2018) bisiklet ile ulaşımının kamu ulaşım döngüsü içerisine katılabilmesi için hem güvenlik hem de seçim parametrelerini araştırmışlardır. Rota

seçiminde etkili parametreleri belirleyebilmek için uzun zamandır Isparta/Türkiye’de yaşayan 460 katılımcıya bir anket yapılmıştır. Anket sonucunda rota seçimini en çok etkileyen parametre kazaya meyilli alanlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen diğer parametreler önem sırası göre; otobüs yolu, yol kenarı parklanması, bisiklet parkları, yol sınıfı, sinyalizasyon, trafik kapasitesi, bağlı bisiklet yolu ve ayrılmış bisiklet yolu'dur. Daha güvenli ve uygulanabilir bisiklet rotalarını belirleyebilmek için kaza raporları, otobüs yolları ve anket sonuçları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığıyla analiz edilmiştir. Ayrıca kullanılan kriterlerin ağırlıklarını belirleyebilmek için AHP kullanılmıştır.

Al-Arkawazi, (2018) sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerinin yakıt tüketimi, operasyon maliyeti ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. SIDRA benzetim programı aracılığıyla simülasyonu yapılan çalışma alanında incelenen parametre değerleri elde edilmiştir. Daha sonra kavşağın sinyalizasyon süresi için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimize edilen sinyal süreleri ile tekrar simülasyon kurulmuş ve ilgili değerler yeniden alınmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki; sinyalize kavşaktaki taşıt gecikmelerinin ilgili parametreler üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Bing *et al.* (2018) çalışmada emisyon değerlerini etkilediği düşünülen 3 geometrik tasarım ve trafik ile ilgili parametreler incelemiştir. Dikkate alınan 3 emisyon parametresi; HC, CO ve NO_x'dir. Geometrik tasarım ile ilgili faktörler; yol genişliği, şerit sayısı ve kavşak şeridi biçimi olurken, trafik ile alakalı faktör serbest akış hızı olarak alınmıştır. Sonuç olarak; (1) yol genişliğinin artırılması CO emisyonu üzerinde olumsuz etki yaparak emisyonun artmasına sebep olmuştur, (2) şerit sayısının artırılması ile dikkate alınan bütün emisyon değerlerinin azaltılmasının mümkün olacağı görülmüştür, (3) kavşak şeridi biçiminin üç emisyon üzerinde de önemli etkisinin olduğu gözlemlenmiştir, (4) ortalama hızın 37-39 km/sa olması durumunda düşük emisyon salınımının olduğu anlaşılmıştır.

Göktan, (2018) çalışmada Türkiye genelinde bulunan hemzemin kavşaklar ile eş düzey olmayan kavşakların çalışma prensiplerini, geometrilerini, güvenlik esaslarını ve

tasarım esaslarını incelemiştir. Çalışma alanı olarak Başpınar Kavşağı ele alınarak modern dönel kavşak olarak tasarımı yapılan kavşağın eş düzey olmayan kavşağa geçiş sürecindeki geometrik tasarım ve planlama aşamaları ele alınmıştır.

Dündar, (2018) bu tez çalışmasında doygum akım değerini etkileyen parametrelerin sayısının fazla olmasından dolayı, İstanbul ilinde ışıklı kavşaklardaki doygum akım değerini etkileyen geometrik tasarım parametreleri irdelemiştir. Şerit sayısı, şeridin eğimi, sola-sağa dönüş oranları ve şerit genişliği ile olan ilişkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Toplam 100 kavşak ve 209 yaya geçidinde 86 903 taşıt incelenerek aralık değerleri gözlemlenmiştir. Her şerit için minimum 30 devre süresince ve kuyrukta en az 7 aracın olduğu döngülerde yeşil ışık ile birlikte kavşağa giren araçların arka tamponları dikkate alınarak, dur çizgisini geçerken araçlar arasındaki aralık değerleri verisi toplanmıştır. Bunun yanı sıra araçlar büyük ve küçük araç olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Elde edilen doygum aralık değerleri ANOVA ile test edilmiştir ve anlamsız sonuçların çıkması durumunda yeniden ölçümler yapılmıştır. Geometrik etkenlerin doygum akıma etkisini bulmak için öncelikle temel durumlarda temel doygum akım değeri hesaplanmıştır. Bu kapsamda temel durumları sağlayan 49 şeritte temel doygum akım değeri ortalama olarak 1 890 bo/sa/şrt olarak bulunmuştur. Bahsi geçen diğer geometrik parametreler için yine aynı şekilde ölçümler yapılarak bir teorik bağıntı elde edilmiştir.

Tekin Karagöz, (2018) bu tez çalışmasında Eskişehir ilinde yoğun olarak kullanılan bir kavşak bölgesini ele almıştır. Kavşağın benzetimi ve analizi Sidra Intersection 7 programı ile yapılmıştır. Mevcut durum tasarımı yapıldıktan sonra iki komşu kavşak sinyalizasyon sistemlerinin birbiriyle koordineli şekilde sinyalizasyon edilmesi durumunda mevcut sinyalizasyon sistemine göre taşıt gecikmelerinde %42'lik bir iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir. Daha sonra iki komşu kavşağın arasındaki mesafe ve ilgili kavşağın devre süresinin taşıt gecikmelerine etkisi incelenmiştir.

Uludamar ve Tüccar, (2018) tarafından yapılan bu çalışmada Adana şehir merkezinde bulunan bir dönel kavşak üzerinde Vissim simülasyon programı aracılığıyla farklı sinyalizasyon incelemeleri sonucunda trafik yoğunluğunun ve taşıt emisyon

değerlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Dönel kavşakta bulunan sinyal süresini 22sn'den 28 sn'ye çıkarınca seyahat süresi, kuyruk uzunluğu ve çevre açısından ne gibi değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda 28sn yeşil ışık süresinin 22sn yeşil ışık süresine göre daha iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur.

Literatürdeki eksiklikler dikkate alınarak yapılan bu tez çalışması kapsamında koridor üzerinde bulunan kavşak tasarımlarının geometrik ve sinyalizasyon sistemler baz alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Koridor bazlı kavşak tasarımlar için PTV Vissim mikro simülasyon programı kullanılmıştır. Yapılan koridor tasarımlarının belirlenen kriterlere ait performans değerlerine göre karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma için ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Literatürde daha önce koridor tasarımlarının performans değerlerine göre sıralandırma işlemi herhangi bir ÇKKV yöntemi ile yapılmamıştır. Bu doğrultuda hem geometrik hem de sinyalizasyon sistem tasarımları yapılarak en iyi alternatif koridor seçimi yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan bu çalışma kapsamında İstanbul ilinde yoğun bir bölge olan Vatan Caddesi ele alınarak bu cadde üzerindeki koridor bazlı tasarımlar yapılmıştır. Koridorda bulunan 3 kavşak için çeşitli tasarımlar yapılarak kavşak iyileştirmeleri aracılığıyla koridor performans değerlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Tasarımlar mikro simülasyon programı PTV Vissim aracılığıyla yapılmıştır. Vissim programından elde edilen koridor performans değerleri ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sinyalizasyon sistemlerinin bazıları için Webster sinyalizasyon formülasyonları kullanılmıştır.

3.1. Trafik Simülasyon

Simülasyon, bir sisteme ait mevcut tasarımın bir bilgisayar programına aktarılmasıyla, hem mevcut koşulları hem saha haricinde değerlendirebilen hem de değişik şartlar altında tasarımın nasıl davranış sergileyeceğinin izlenmesini sağlayan bir modelleme yöntemidir. Trafik alanında kullanılan simülasyon programları mevcut durumda herhangi bir tasarım yapmadan oluşturulan alternatif tasarımların trafik hacmi, trafik kaza sayıları, trafik gecikmeleri gibi trafik parametreleri üzerindeki etkilerini görmek için kullanılmaktadır. En önemli avantajı düşük maliyet olan trafik simülasyon programları, oluşturulan tasarımların uygulamadan önce performans değerlerinin önceden görülebilmesini sağlamaktadır. Trafik simülasyonun en önemli amaçları arasında taşıtların trafik düzeni içerisindeki hareket ve davranışlarının düşük maliyetle karşılaştırmak ve bu hareketleri görsel olarak benzetim programına yansıtmaktır.

Tüm simülasyon programlarının çalışma adımı olarak ilk önce problemler tanımlanır ve bunun için üretilecek çözümler programa aktarılır. Benzetimi yapılan tasarımların mevcut durum ile ilişkisine bakılarak geçerlilik-tutarlılık testi uygulanır. Geçerlilik-tutarlılık testinin uygun olmaması durumunda benzetimler yeniden yapılır. Testin

sonucu olumlu olarak sonuçlandırıldığında, simülasyon tekrarları yapılarak performans değerleri elde edilir.

Birçok kentin yol ağlarında nüfus ve hareketlilik parametresinin etkisiyle trafik sıkışıklığı meydana gelmektedir. Bu sıkışıklıkların çözümlenebilmesi için problem ve çözüm tasarımları simülasyon programı aracılığıyla yapılmaktadır. Bu doğrultuda birçok simülasyon programı geliştirilmiştir. SYNCHRO, TRANSIMS TRANSYT, NETSIM, SIDRA, VISSIM, ARTIST, AIMSUN, VISUM, URTRAN, MITRAM ve TRACSS bu simülasyon programlarına örnek olarak verilebilir.

Bu çalışma kapsamında PTV firmasının geliştirdiği Vissim mikro simülasyon programı kullanılmıştır.

3.1.1. PTV Vissim mikro simülasyon programı

Vissim (Verkehr in Städten-Simulation: traffic in towns-simulation), şehir içi ulaşım sistemleri ve transit ulaşım sistemlerinin trafik modellenmesi ve değerlendirilmesi için geliştirilmiş; davranış tabanlı bir mikro simülasyon programıdır. Bir yazılım kuruluşu olan PTV GmbH mühendisleri tarafından geliştirilen programın kalibrasyonunu Karlsruhe Teknik Üniversite (Almanya) yapmıştır. Bu benzetim programı aracılığıyla, şehir içi karayolu trafiği için çeşitli yol kombinasyonları, trafik sinyalizasyon sistemleri, toplu taşıma sistemleri gibi tasarımlar yapılmaktadır. Simülasyon sonuçları, trafik kompozisyonu, geometrik tasarımlar, trafik hacim değerleri gibi parametrelerin programda kolayca görüntülenebilmesi yapılmaktadır. Gerçek uygulamalar olmadan da seyahat süreci veya trafik gecikmeleri gibi parametrelerin elde edilmesi bu program sayesinde mümkündür. Benzetim programı trafik ile ilgili analizler yaparken sürücü-taşıt birimlerinin psikolojik fonksiyonlarını da hesaba katmaktadır.

Vissim; yaya, bisiklet, motosiklet, otomobil, kamyonet, toplu taşıma taşıtı, hafif raylı sistem, metro gibi ulaşım araçlarının multi-modal trafik akışlarına entegre edilebildiği ve seçeneklerin özelleştirilebildiği bir simülatör programıdır.

Bu çalışma koridor üzerinde bulunan kavşakların geometrik durumları ve sinyalizasyon sistemlerinin tasarlanması için Vissim programı kullanılmıştır.

3.2. Webster Sinyalizasyon Yöntemi

Sinyalizasyon sistemlerinin hesaplamasında kullanılan en yaygın yöntemler: Avustralya Yöntemi, HCM 2000 Yöntemi, Webster (İngiliz) Yöntemi'dir. Bu çalışmada sinyalizasyon sistem hesaplama yöntemlerinden Webster (İngiliz) Yöntemi kullanılarak sinyalizasyon hesaplamaları yapılmıştır.

Sinyalize kontrollü kavşaklarda yaklaşım kolundaki trafik hacim değeri, trafik akımı tarafından kullanılabilen yeşil süresi ve yeşil periyod sırasında duruş hattından geçen maksimum taşıt oranına bağlı olmaktadır.

Webster Yöntemi kesintili trafik akımlarını esas alan bir hesap yaklaşım türüdür. Sinyalize kavşaklarda bulunan trafik akımları, trafik sinyalleri aracılığıyla kesintiye uğratıldıklarında akım karakteristiğinde farklılıklar meydana gelmektedir. Kesintili akım karakteristikleri tam olarak tespit edilemezse trafik sinyalizasyon hesaplamaları da uygun bir şekilde yapılamaz.

Webster Yöntemi ile sinyalizasyon hesaplamaları için kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

$$C_o = \frac{1.5 * L + 5}{1 - Y}$$

$$L = 2n + R$$

$$Y = y_1 + y_2$$

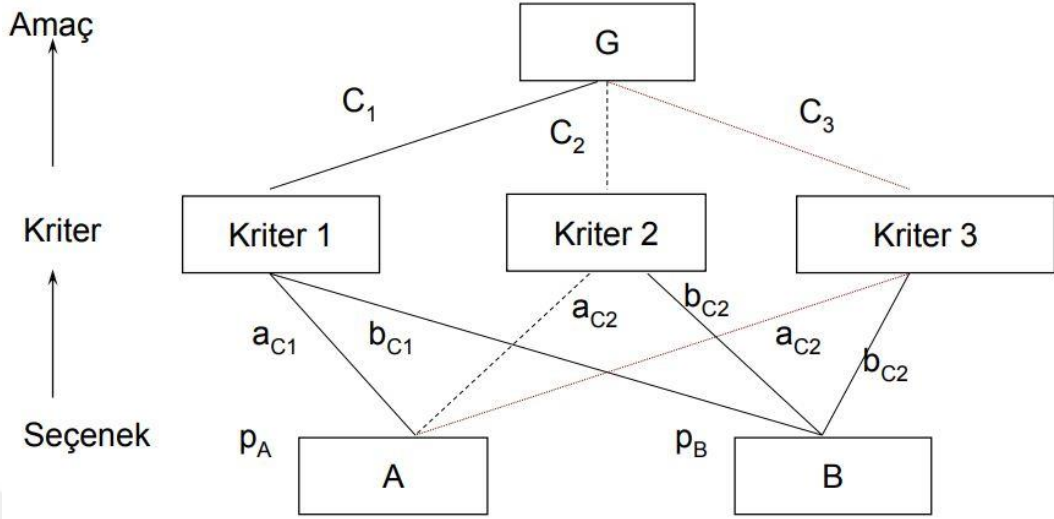
$$y_1 = \frac{q_1}{s_1}, \quad y_2 = \frac{q_2}{s_2}$$

$$G_1 = \frac{y_1}{Y} * (C_o - L), \quad G_2 = \frac{y_2}{Y} * (C_o - L)$$

Formüller kullanılarak hesaplanması gereken yeşil süresi bulunabilir. Yeşil süresi belirlendikten sonra kavşak bölgesinin durumuna göre sarı süresine karar verilir ve toplam döngü sayısından kırmızı süresi elde edilebilir (Krishna 2018).

3.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

AHP, 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem ekonomik, politik, sosyal ve teknik alandaki problemlerin çözümü için en çok kullanılan yöntem olarak ifade edilmektedir. AHP, birden çok karar vericinin karar verme sürecine dahil edildiği bir yapıdır. Karar almada nicel ve nitel ölçütleri değerlendirebilen, karar vericilerin objektifliğini ve sübjektifliğini de içinde barındıran kullanımı kolay bir yöntemdir. Bütün karar verme süreçlerinde olduğu gibi bu yöntemde de bir amacı etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin birbirlerini etkilediği düşünülerek ikili karşılaştırma yoluyla elemanlarının birbirlerini ne oranda etkilediğini belirlenmektedir. AHP'nin hiyerarşik yapısı en az 3 seviyeden oluşmaktadır. İlk olarak çalışmanın amacı belli olmalıdır. Sonraki aşamada çalışmayı etkileyen değerlendirme ölçütlerinin var olmasıdır. Son seviyede ise karar seçenekleri bulunmaktadır. Şekil 3.1'de AHP'nin hiyerarşik yapısı sunulmuştur (Özdemir 2018).



Şekil 3.1. AHP hiyerarşik yapısı

AHP'nin günümüzde birçok alanda kullanımı mevcuttur. Bunlara örnek vermek gerekirse; tesis/yer/kuruluş yeri seçimi, tedarikçi seçimi, tüketicilerin ürün alternatifleri arasından seçimi, donanım ve yazılım seçimi, işe alma vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

AHP işlem adımları

Adım 1. Problemin tanımlanması

İlk olarak problemin çözümünün AHP ile çözümlüp çözülmeyeceğine karar verilmelidir. Uzman görüşleri ve literatür incelenerek problemin AHP ile çözülebileceği belirlenir. Bu aşamada karar için gerekli olan ölçütler belirlenerek bir çözüm algoritması oluşturulmaktadır.

Adım 2. Hiyerarşinin oluşturulması

Bütün ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi AHP'de de hiyerarşinin en tepe noktasını amaç oluşturmaktadır. Amacın doğru belirlenmesi ve amacı etkileyen ölçütlerin

belirlenmesi sürecin doğru ilerlemesi için önem arz etmektedir. Hiyerarşinin en alt seviyesinde ise karar seçenekleri bulunmaktadır. Var olan problemin farklı bakış açılarıyla tekrardan tanımlanması ve ölçütlerin doğru seçilmesi hayati önem taşımaktadır.

Adım 3: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

AHP'nin hiyerarşik yapısında yer alan ölçütlerin birbirleri ile olan üstünlüklerini karşılaştırılması amacıyla ikili karşılaştırma matrisleri kurulmaktadır. İkili karşılaştırma matrisinde bir üst düzeydeki faktöre göre i . ve j . Ölçütlerin görel olarak önem dereceleri belirlenmektedir. Kısaca bir ölçütün diğer ölçüte göre ne oranda tercih edileceği sorusunun cevabını vermektedir. Bir düzeyde n sayıda eleman bulunduğu için $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapmak gerekmektedir. Her bir karşılaştırmanın var olduğu durum matris şeklinde düzenlenmektedir. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşmasında kullanılan Saaty 1-9 skalası Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Saaty skalası (Saaty 2008)

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit öneme sahip
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre bir daha önemli
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemli
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok fazla önemli
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli

Bu matrislerin oluşturulmasında yapılan karşılaştırmalar ikili matris değerinin 1 olan köşegenin üstünde kalan elemanlar için yapılmaktadır. Sütundaki ölçütün satırdaki

ölçütten üstünlüğü var ise 1-9 skalasından herhangi bir değer yazılırken, satırdaki ölçütün sütundaki ölçütten üstünlüğünde 1/1-9 skalasından herhangi bir değer yazılmaktadır.

Adım 4. İkili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi

İkili karşılaştırma matrislerinin Saaty skalasına göre oluşturulduktan sonra matriste var olan her bir elemana ait normalizasyon işlemi aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Adım 5. Öncelik vektörünün hesaplanması

İkili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi ile her bir sütun toplamı 1 olmalıdır. Aşağıdaki eşitliğe göre normalize edilmiş matrisin her bir satırının toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınmaktadır. Elde edilen değerler ile her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıkları olarak ifade edilmektedir.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 6. Tutarlılık oranının hesaplanması

Yapılan karşılaştırma sonucunda belirlenen değerler ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olup olmadığı önem arz etmektedir. Elde edilen A matrisinin tutarlı olup olmadığını belirlemek için bir çok yöntem var olmakla birlikte AHP yönteminde “tutarlılık indeksi” (TI) adı verilen katsayı ile belirlenmektedir. TI aşağıda verilen eşitlik işe hesaplanmaktadır.

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

TI değerini hesaplama aşamasına geçmeden önce “özdeğer” olarak ifade edilen λ_{max} ’ın bulunması gerekmektedir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak özdeğer ifadesi hesaplanmaktadır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right]$$

Özdeğer hesaplamak için uygulanan adımlar

AHP sürecinin başında oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ile matrise ait öncelik vektörü çarpılması sonucunda ağırlıklı toplam vektörü bulunmaktadır.

Elde edilen ağırlıklı toplam vektör her bir elemanın öncelik vektörünün aynı indisli elemanına bölünmesi sonucunda her bir değerlendirme ölçütüne ait değerler elde edilir. Bu işlem aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}$$

Yukardaki eşitlik sonucu elde edilen sonucu çıkan ölçüte ilişkin değerler toplamının d_i matris büyüklüğüne (n) bölünmesiyle özdeğer olarak ifade edilen λ_{max} bulunmaktadır.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Tutarlılık durumunun önemli olduğu AHP sürecinde, ayrıca tutarlılığı değerlendirebilmek için ‘random indeksi’ (RI) değerinin de bilinmesi gerekmektedir. RI değeri değerlendirme ölçüt sayısı 15 olan durumlar için hesaplanmaktadır.

Elde edilen TI ve RI değerleri sonrası aşağıda verilen eşitlik yardımıyla “tutarlılık oranı” (TO) belirlenmektedir.

$$TO = \frac{TI}{RI}$$

Bu eşitlik sonucu elde edilen TO değerinin 0,10'dan küçük olması durumunda oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu oranın aşılması durumunda matrisin tutarsız olduğu ve AHP işlem adımlarının tekrardan gözden geçirilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

3.4. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), 1980 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş ve birçok uygulama alanına sahip olan ÇKKV yöntemidir. Geliştirilen bu yöntem iki temel noktaya dayanmaktadır. Pozitif ideal çözüm (PİÇ) ve negatif ideal çözüm (NİÇ) bu iki temel nokta olarak ifade edilmektedir. TOPSIS yönteminde PİÇ'e en yakın ve NİÇ'e en uzak mesafedeki seçenekler en iyi karar seçeneği olarak tanımlanmaktadır. TOPSIS yönteminin uygulanabilmesi için en önemli husus en az iki karar seçeneğinin olması gereğidir. Genel olarak ÇKKV sıralama yöntemlerinin hepsinde bulunan kriterlerin maliyet ya da fayda yönlü olup olmaması bu yöntemde de önem arz etmektedir (Hwang and Yoon 1981).

TOPSIS işlem adımları

İlk olarak çalışmanın amacına uygun olarak karar seçenekleri ve değerlendirme ölçütleri belirlenir. Daha sonra n adet ölçüt ($K=k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$) ve m adet karar seçeneğinden ($A=a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$) oluşan karar matrisi oluşturulur (Hwang and Yoon 1981).

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

Sürecin başlangıcında karar vericiler tarafından oluşturulan matris, karar matrisi (D) olarak adlandırılır. Karar matrisinin satır ve sütunları, seçenek ve ölçütleri ifade etmektedir. D_{ij} , i . Seçeneğin j . Ölçüte göre gerçek değerini yani mevcut performansını göstermektedir. Karar matrisi aşağıdaki eşitlik ile gösterilmektedir.

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{i1} & d_{i2} & \dots & d_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Standart karar matrisinin oluşturulması

Oluşturulan karar matrisinden sonra matris elemanları yardımıyla standart karar matrisi (R) elde edilir. Karar matrisinin her bir ölçütüne ait değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak, sütunun ilgili elemanın bu çıkan değere bölünmesiyle standart karar matrisi elde edilir. Elde edilen karar matrisinde 0 değerine sahip bir eleman var ise bu elemanların standart karar matrisinde de değeri 0 olur. Normalizasyon işlemi literatür inceliğinde farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Vektör, doğrusal ve monoton olmayan normalizasyon içinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Normalize işlemi için bu yöntemde vektör normalizasyonu kullanılmıştır ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir.

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m d_{kj}^2}}$$

Normalize işlemleri neticesinde standart karar matrisi R aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibidir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3. Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması

Adım 3'e gelmeden önce çeşitli ölçüt ağırlıklandırma yöntemleri ile ölçütlerin ağırlıkları (w_j) belirlenmiştir. w_j değerleri, aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi R'nin elemanları ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilir. Değerlendirme ölçütlerinin ağırlık değerleri toplamı 1 olmalıdır.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_2 r_{21} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 4: Pozitif (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması

Standart karar matrisinden PİÇ ve NİÇ adında farklı iki sanal çözüm kümesi üretilmektedir. Değerlendirme ölçütleri fayda cinsinden ise PİÇ (A^*), V'nin en iyi değerlerinden oluşurken; NİÇ (A^-) en kötü değerlerden oluşmaktadır. Değerlendirme ölçütleri maliyet cinsinden ise bu durumda A^* , V'nin ölçüt değerlerinin en küçüklerinden oluşurken, A^- , en büyük değerlerinden oluşmaktadır.

Adım 5: Ayrım ölçütlerinin hesaplanması

TOPSIS'de her bir seçenek A_i için ideal ayrımı S_i^* ve negatif ideal ayrımı S_i^- olarak adlandırılan iki ayrım ölçüsü ortaya çıkmaktadır. J seçeneğinin PİÇ'e ve NİÇ'e olan uzaklıkları olan S_i^* ve S_i^- aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir. Bu hesaplamada Öklid

uzaklık yaklaşımından yararlanılmaktadır. Karşılaştırılan karar seçenekleri sayısı kadar S_i^* ve S_i^- değeri hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması

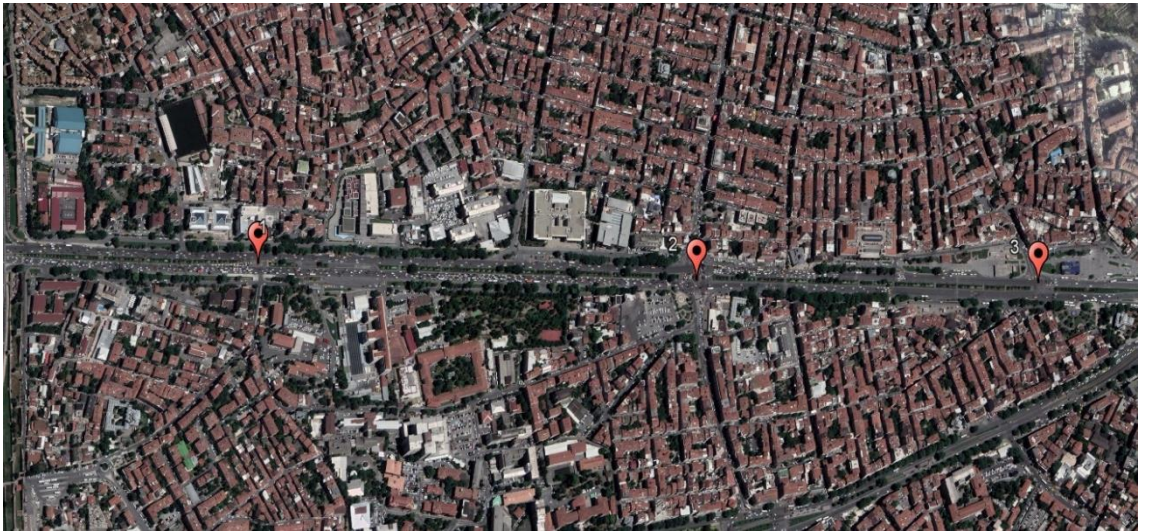
S_i^* ve S_i^- ölçüleri kullanılarak her bir seçenek için PİÇ'e olan göreli yakınlığı C_i^* , aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır. PİÇ'e en yakın mesafede bulunan seçenek en uygun karar seçeneği olarak belirlenir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışma Alanı

Nüfus, ekonomik, ulaşım, kültürel faaliyetler, sosyal alanlar gibi konularda Türkiye'nin lokomotif konumunda bulunan İstanbul bu tez çalışması kapsamında çalışma alanı olarak seçilmiştir. İstanbul belediye sınırları göz önüne alınarak yapılan sıralamaya göre nüfus büyüklüğü açısından Avrupa'da birinci sırada olma özelliği taşımaktadır. İstanbul ilinin en kalabalık ve trafik hareketliliğinin en yoğun olarak hissedildiği ilçelerden biri olan Fatih ilçesi özel olarak irdelenmek üzere değerlendirmeye alınmıştır. Fatih ilçesinde sosyal ve kamusal alanların merkezi olarak gösterilen Vatan Caddesi, koridoru trafik değerlendirmelerini incelemek için seçilmiştir. Vatan Caddesi üzerinde ilk, orta ve lise düzeyinde olmak üzere toplam 3 adet okul, PTT, İstanbul İl Özel İdaresi, İstanbul Emniyet Müdürlüğü, İstanbul Vergi Dairesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Hastane, Üniversite, gibi kamusal binalar ve çeşitli sosyal alanların bulunduğu bir merkez konumundadır. Dikkate alınan koridor kesimi toplam 2 580 m uzunluğundadır. Ayrıca Vatan Caddesi koridoru üzerinde mevcut durumda 3 ana eşdüzey kavşak bulunmaktadır. Çalışma alanı Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Vatan Caddesi koridoru

Bu tez çalışmasında İstanbul ili, Fatih ilçesi, Vatan Caddesi koridorunun trafik durumunu geometrik tasarım ve sinyalizasyon sistemleri ile iyileştirmek amaçlanmaktadır. Koridor üzerinde yer alan 3 eş düzey ana kavşak için çeşitli alternatifler üretilerek toplam 30 adet koridor tasarımı yapılmıştır. Kavşak alternatiflerinde farklı düzey kavşak ve çeşitli eş düzey kavşak tasarımları yapılmıştır. Buna ek olarak kavşakların sinyalizasyon sistemlerinde çeşitli optimizasyonlar yapılmıştır. Yapılan tasarımların tamamı PTV Vissim mikro simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır. Tasarımların tümü tutarlılık testine tabi tutulmuştur. Test sonucunda yapılan 30 tasarımın 18 adetinin uygun olduğu gözlemlenmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesi için toplam 9 adet kriter, literatür, yazar ve uzman görüşleri dikkate alınarak seçilmiştir. Seçilen kriterlerin ağırlıklandırma işlemi ÇKKV yöntemlerinden olan AHP metodu ile yapılmıştır. Tasarlanan koridorların performans değerleri ve kriterler göz önüne alınarak karşılaştırma işlemi TOPSIS metodu ile yapılmıştır.

4.2. Değerlendirme Kriterleri

Bu çalışmada kavşak tasarımlarını etkilediği düşünülen 9 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler aşağıda belirtilmiştir.

- K.1. Taşıt Gecikmesi
- K.2. Kuyruk Uzunluğu
- K.3. Durma Gecikmesi
- K.4. Duraklama Sayısı
- K.5. Seyahat Süresi
- K.6. Taşıt Güvenliği
- K.7. CO Emisyonu
- K.8. Yakıt Tüketimi
- K.9. Yapım Maliyeti

Kavşak tasarımlarının değerlendirilmesi için literatürde genel yargı olarak bazı kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlere ek olarak yazar ve uzman görüşleri alınarak bu çalışmada kullanılan değerlendirme kriterlerinin tamamı belirlenmiştir. Değerlendirme kriterleri hakkında bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Taşıt Gecikmesi: Gecikme, kavşak kullanıcılarının (taşıt sürücü ve yaya) trafik durumundan dolayı kaybettikleri zaman olarak ifade edilmektedir. Literatürde en çok kullanılan gecikme tanımları; Durma Gecikmesi, Yaklaşım Gecikmesi, Kuyruktaki Gecikmesi, Seyahat Süresi Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi olarak görülmektedir.

Kuyruk Uzunluğu: Kavşak bölgelerinde genellikle sinyalizasyon sistemlerinin trafiğe etkisinden dolayı kavşak kollarındaki taşıtların hareketsiz olduğu durumlarda oluşturduğu mesafedir. Kuyruk uzunluğu sinyalizasyon sistemlerinin optimizasyonu ve kavşak geometrik tasarımlarında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir.

Durma Gecikmesi: Taşıtın bir kavşak bölgesinden geçmek için beklerken kuyrukta durakladığı zaman olarak ifade edilmektedir. Ortalama durma gecikmesi ise belirtilen zaman aralığı boyunca kuyrukta bulunan tüm taşıtların ortalama değeridir.

Duraklama Sayısı: Taşıtların bir kavşağı veya koridoru kullanırken trafikten veya sinyalizasyon sistemlerinden dolayı taşıtların hareketsiz olarak durmasıdır. Duraklama sayısı, taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu ve emisyon gibi olumsuz parametreleri etkilemektedir.

Seyahat Süresi: Bir taşıtın kavşağın veya koridorun başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki mesafeyi aldığı süre olarak ifade edilmektedir. Seyahat süresi yolcu ve sürücü açısından seyahat konforunu etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir.

Taşıt Güvenliği: Bir kavşağın en önemli parametresi olarak görülmektedir. Bunun nedeni; diğer olumsuz trafik parametrelerinin hiç biri insan hayatı üzerinde herhangi bir etkiye sahip değilken trafik güvenliğinin insan hayatı ile doğrudan ilişkisi

bulunmaktadır. Kavşak tasarım esaslarından yüksek güvenlik parametresinin yerine getirilmesi için öncelikle taşıt güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Yapılan çalışma kapsamında koridordaki taşıt güvenliği var olan çakışma sayıları baz alınarak hesaplanmıştır.

CO Emsiyonu: Taşıtların seyir halindeyken salım yaptığı zararlı gazlardan biri de karbon monoksit emisyonudur. Motorlu taşıtların çevre koşulları üzerinde en olumsuz etkisi emisyon salınımıdır. Emisyon salınımının azaltılması için trafik akışının sürekli hale getirilmesi gerekmektedir.

Yakıt Tüketimi: Taşıtların hareket halindeyken kullandıkları yakıt miktarıdır. Yakıt tüketimi doğrudan ekonomi ile ilgili bir parametre olduğu için kullanıcıların en çok ilgilendiği parametrelerden biridir. Ayrıca kavşak maliyetlerinde dolaylı maliyet olarak düşünüldüğünden dolayı kavşak maliyetini de artırmaktadır.

Yapım Maliyeti: Bir kavşak geometrik tasarımını ve sinyalizasyon sistemleri gibi altyapı projelerinin uygulanması için gider olarak gösterilen miktardır. Özellikle farklı düzey kavşaklarda yapım maliyeti fazla olması bu tür kavşakların uygulama alanını daraltmaktadır. Uzman görüşleri dikkate alınarak yapım maliyetleri kavşakların karşılaştırması sonucunda elde edilmiştir.

4.3. Verilerin Toplanması

Trafik hacim verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi, trafik kontrolü, denetimi ve yönetimi açısından önemli bir konudur. Değerlendirmeye alınan koridora gelen trafik akımları Şekil 4.2-4.3 ve 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.2. 1 Numaralı kavşak trafik akımları



Şekil 4.3. 2 Numaralı kavşak trafik akımları



Şekil 4.4. 3 Numaralı kavşak trafik akımları

Çalışma alanındaki trafik akım değerlerini belirlemek için toplam 3 kavşakta trafik sayımları İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır. Sayım sonuçları sabah 07:00-09:00 ve akşam 16:30-18:30 zaman aralığında 15'er dakikalık ölçümler neticesi elde edilmiştir. Trafik kompozisyonları cinsinden taşıtların türleri ayrı ayrı değerlendirilerek sayımlar yapılmıştır. Sabah saatlerindeki sayımlar ile akşam saatlerinde yapılan sayımlar karşılaştırıldığında sabah saatlerindeki trafik hacmi daha yüksek olduğu için sabah saatlerindeki trafik hacmi çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan trafik sayımları Çizelge 4.1-4.2-4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1 Numaralı - 2 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları

	1.AKIM	2.AKIM	3.AKIM	4.AKIM	5.AKIM	TOPLAM	
KAVŞAK 1'DEN KAVŞAK 2'YE	OTOMOBİL	3 150	15	42	0	0	3 207
	KAMYONET	458	1	2	0	0	461
	TAKSİ	248	34	16	0	0	298
	T.MİNİBÜS	78	0	16	0	0	94
	SERVİS MİN.	188	8	3	0	0	199
	İETT+HALK	65	0	7	0	0	72
	AĞIR TAŞIT	11	0	2	0	0	13

Çizelge 4.2. 2 Numaralı - 3 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları

		1.AKIM	2.AKIM	3.AKIM	4.AKIM	TOPLAM
KAVŞAK 2'DEN KAVŞAK 3'YE	OTOMOBİL	2 187	10	81	78	2 356
	KAMYONET	187	1	9	6	203
	TAKSİ	198	0	62	21	281
	T.MİNİBÜS	58	0	0	0	58
	SERVİS MİN.	97	2	8	18	125
	İETT+HALK	60	0	9	4	73
	AĞIR TAŞIT	8	0	0	0	8

Çizelge 4.3. 3 Numaralı - 2 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları

		1.AKIM	2.AKIM	3.AKIM	4.AKIM	TOPLAM
KAVŞAK 3'DEN KAVŞAK 2'YE	OTOMOBİL	34	706	6	24	770
	KAMYONET	12	129	0	6	147
	TAKSİ	9	237	3	21	270
	T.MİNİBÜS	63	0	0	0	63
	SERVİS MİN.	1	92	0	4	97
	İETT+HALK	3	69	0	0	72
	AĞIR TAŞIT	0	7	0	0	7

Çizelge 4.4. 2 Numaralı - 1 Numaralı kavşak akımına yönelik trafik sayımları

		1.AKIM	2.AKIM	3.AKIM	4.AKIM	TOPLAM
KAVŞAK 2'DEN KAVŞAK 1'E	OTOMOBİL	181	702	381	518	1 782
	KAMYONET	1	93	18	37	149
	TAKSİ	9	173	62	58	302
	T.MİNİBÜS	0	59	0	0	59
	SERVİS MİN.	55	81	21	47	204
	İETT+HALK	0	66	0	0	66
	AĞIR TAŞIT	10	0	0	1	11

4.4. AHP Uygulaması

Belirlenen değerlendirme kriterlerinin ağırlık oranlarının hesaplanması için ÇKKV yöntemlerinden olan AHP kullanılmıştır. Ağırlıklandırma işlemi karar verme takımı kurularak yapılmıştır. Karar vericiler açısından ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen ağırlıkların ortalaması alınarak nihai bir kriter ağırlıklandırılması elde edilmiştir. Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinden örnek olarak Çizelge 4.5’de verilmiştir. Kriter ağırlıklandırma işlemi için ikili karşılaştırma matrisinin normalizasyon işlemi doğrusal normalizasyon ile yapılmıştır. Normalize matris Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. İkili karşılaştırma matrisi

Kriter	K1 Taşıt Gecikmesi	K2 Kuyruk Uzunluğu	K3 Durma Gecikmesi	K4 Duraklama Sayısı	K5 Seyahat Süresi	K6 Taşıt Güvenliği	K7 CO Emisyon	K8 Yakıt Tüketimi	K9 Yapım Maliyeti
K1	1	1	3	5	2	1	3	5	2
K2	1	1	3	5	2	1	3	5	2
K3	0,33	0,33	1	3	0,5	0,25	1	3	0,5
K4	0,33	0,2	0,2	1	0,33	0,17	0,33	2	0,5
K5	3	2	0,5	0,5	1	0,33	0,25	0,2	2
K6	3	6	4	1	1	1	4	5	2
K7	0,25	4	3	1	0,33	0,33	1	2	0,5
K8	0,5	0,2	5	0,5	0,33	0,2	0,2	1	0,25
K9	4	2	0,5	0,5	2	2	0,5	0,5	1

Çizelge 4.6. Normalize matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Kriter	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
K1	0,026	0,021	0,607	0,058	0,04	0,03	0,109	0,093	0,153
K2	0,026	0,021	0,607	0,058	0,04	0,03	0,109	0,093	0,153
K3	0,009	0,007	0,202	0,035	0,01	0,007	0,036	0,056	0,038
K4	0,009	0,004	0,04	0,012	0,007	0,005	0,012	0,037	0,038
K5	0,078	0,042	0,101	0,006	0,02	0,01	0,009	0,004	0,153
K6	0,078	0,125	0,809	0,012	0,02	0,03	0,145	0,093	0,153
K7	0,007	0,083	0,607	0,012	0,007	0,01	0,036	0,037	0,038
K8	0,013	0,004	1,011	0,006	0,007	0,006	0,007	0,019	0,019
K9	0,104	0,042	0,101	0,006	0,04	0,06	0,018	0,009	0,076

Normalizasyon sonucunda elde edilen ağırlık değerleri, ağırlık toplam vektörü ve öncelik vektörleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kriterlerin ağırlık, ağırlık toplam vektörü ve öncelik değerleri

Kriter	W	A*W	D
K1	0,060	0,904	15,118
K2	0,060	0,619	10,356
K3	0,021	3,807	180,549
K4	0,009	0,198	22,859
K5	0,022	0,530	23,842
K6	0,077	0,770	9,994
K7	0,044	1,075	24,419
K8	0,057	0,386	6,715
K9	0,024	2,215	92,219

Yapılan ağırlık, ağırlık toplam vektörü ve öncelik vektörü hesaplamalarından sonra ikili karşılaştırma matrisinin tutarlık oranı hesaplaması yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ile elde edilen Tutarlılık Oranı'nın 0,05 olduğu ve karşılaştırma matrisinin geçerli olduğu görülmüştür. Çizelge 4.8’de kriterlerin ağırlık değerlerine göre sıralanması verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kriterlerin ağırlık değerlerine göre sıralanması

Sıralama	Kriterler	W	Sıralama	Kriterler	W
1	K6	0,077	6	K9	0,024
2	K1	0,060	7	K5	0,022
3	K2	0,060	8	K3	0,021
4	K8	0,057	9	K4	0,009
5	K7	0,044			

Karar verme takımının değerlendirmesi sonucunda elde edilen AHP sonuçları incelendiğinde en önemli değerlendirme kriterinin “Taşıt Güvenliği” olduğu görülmüştür. En az önemli değerlendirme kriteri ise “Duraklama Sayısı” olarak gözlemlenmektedir.

4.5. Vissim Tasarımı

Vissim mikro simülasyon programına aktarılan çalışma alanı Vatan Caddesinin görüntüsü, Google Earth programı aracılığıyla alınmıştır. Bu görüntünün öncelikle Vissim programına uyarlanması için ölçeklendirme işlemi yapılmıştır. Koridor üzerinde yer alan kavşakların yakın plan görüntüleri Şekil 4.5-4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

**Şekil 4.5.** Vatan Caddesi koridoru 1 Numaralı kavşak



Şekil 4.6. Vatan Caddesi koridoru 2 Numaralı kavşak



Şekil 4.7. Vatan Caddesi koridoru 3 Numaralı kavşak

Mevcut durum ve alternatifler için yol ağlarının oluşturulması “Link” sekmesi aracılığıyla yapılmıştır. Yol ağlarının tasarlanması sonucunda oluşturulan mevcut

durumun koridor görüntüsü ve kavşakların yakın plan görüntüleri Şekil 4.8-4.9-4.10 ve 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Mevcut durumun koridor yol ağı tasarımı



Şekil 4.9. Mevcut durumun 1 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı

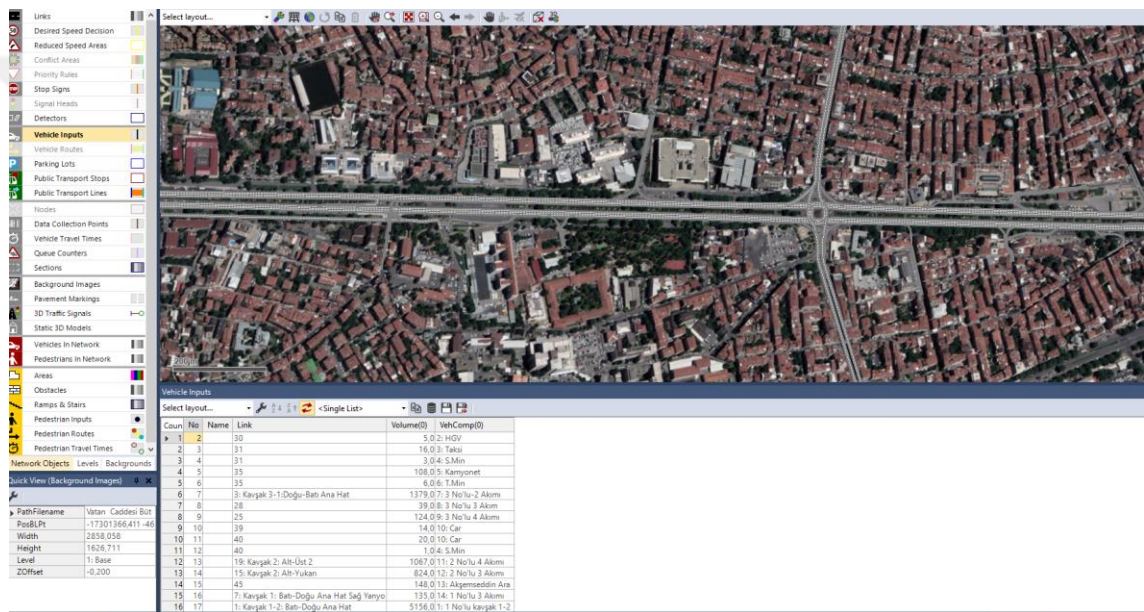


Şekil 4.10. Mevcut durumun 2 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı



Şekil 4.11. Mevcut durumun 3 Numaralı kavşak yol ağı tasarımı

Mevcut durumda yapılan yol ağı tasarımı, diğer bütün alternatif koridorlarda aynı işlem adımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Koridorlara yol ağı ataması yapıldıktan sonra taşıt trafik hacim değerleri ve kompozisyonlarına göre taşıt atamaları yapılmıştır. Taşıt atamalar yapılırken birim otomobil eşdeğerleri kullanılmamıştır. Bunun yerine taşıt cinslerine göre değerlere göre atama yapılmıştır. “Vehicle Inputs” sekmesi ile taşıt akımlarının yönleri dikkate alınarak taşıt cinsleri bakımından taşıt sayısı atamaları yapılmıştır. Şekil 4.12’de taşıt atamaları ile ilgili bir görsel sunulmuştur.



Şekil 4.12. Taşıt sayılarının Vissim programına aktarılması

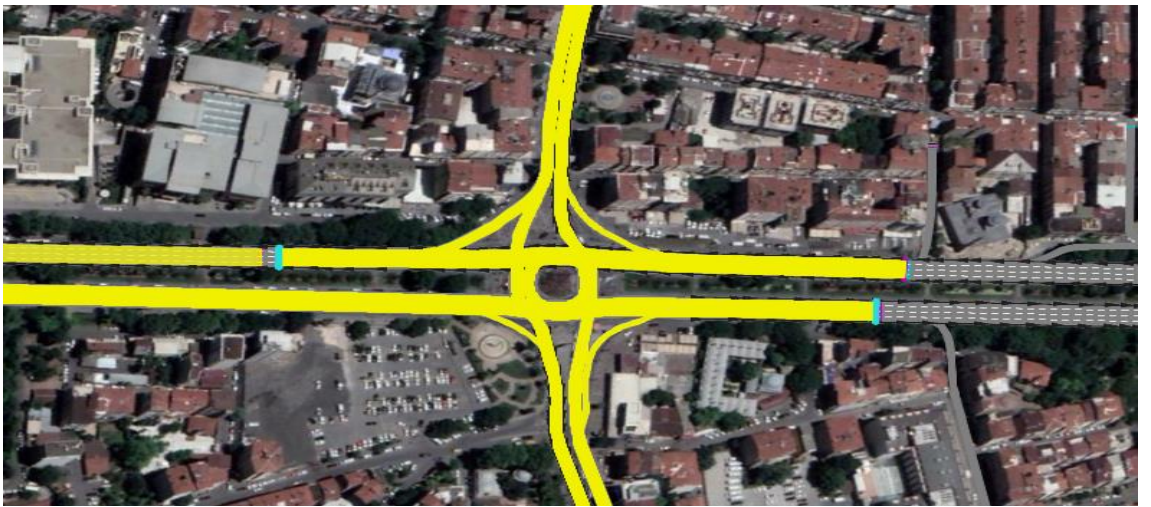
Taşıt atamaları yapıldıktan sonra taşıtların trafik akımındaki hareketlerinin benzetim programına aktarılması için “Vehicle Routes” kullanılarak rota atamaları yapılmıştır. Her bir koridor için taşıt cinslerine göre toplam 205 adet rota ataması yapılmıştır. Şekil 4.13’de koridor bazlı rota atama görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.14-4.15 ve 4.16’da kavşakların yakın plan görüntülerinde rota atamaları ile ilgili görseller sunulmuştur.



Şekil 4.13. Koridor bazlı rota arama işlemi



Şekil 4.14. 1 Numaralı kavşak rota ataması

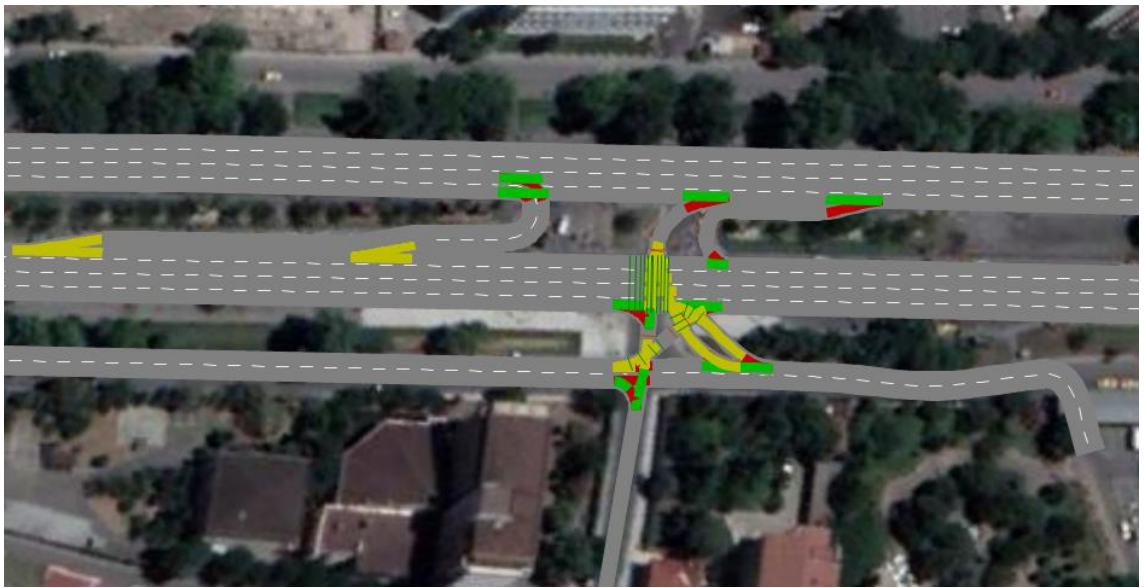


Şekil 4.15. 2 Numaralı kavşak rota ataması

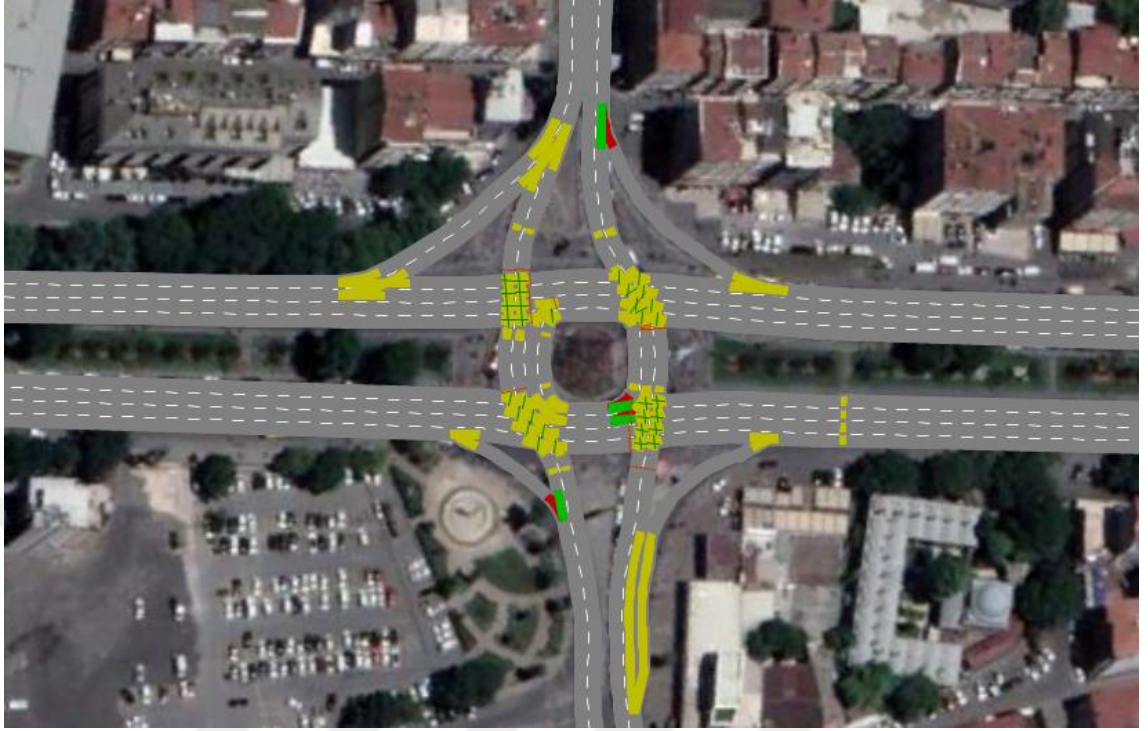


Şekil 4.16. 3 Numaralı kavşak rota ataması

Rota atama işlemi yol ağları gibi tüm diğer alternatiflere aynı şekilde uygulanmıştır. Rota atama sürecinden sonra kavşaklarda meydana gelen çakışmalar için “Conflict Points” ve “Priority Rules” sekmeleri kullanılarak düzenlemeler yapılmaktadır. Şekil 4.17-4.18 ve 4.19’da çakışmaların düzenlemesi ile ilgili görseller verilmiştir.



Şekil 4.17. 1 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri



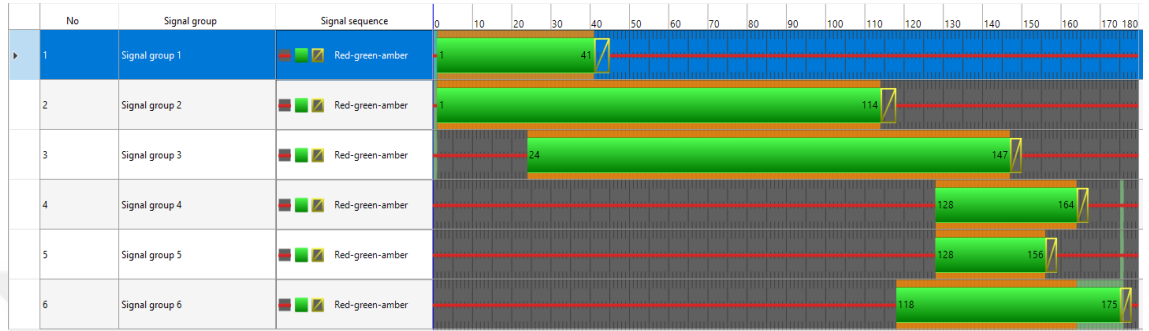
Şekil 4.18. 2 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri



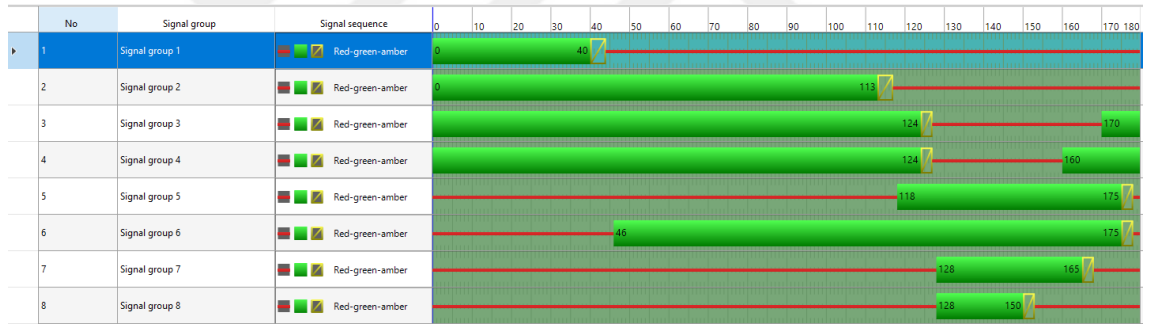
Şekil 4.19. 3 Numaralı kavşakta çakışma düzenlemeleri

Trafik çakışmalarının düzenlenmesi işlemi diğer tüm alternatiflerde aynı şekilde yapılmıştır. Çakışma düzenlemelerinden sonra trafik akımının kontrolü için

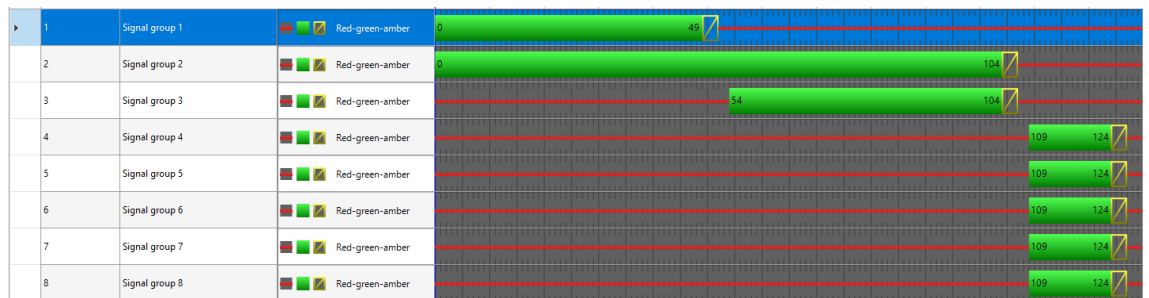
sinyalizasyon sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Bunun için “Signal Controller” ve “Signals Head” sekmeleri kullanılmaktadır. Şekil 4.20-4.21 ve 4.22’de sinyalizasyon sistemlerinin sinyal süreleri verilmiştir.



Şekil 4.20. 1 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri



Şekil 4.21. 2 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri



Şekil 4.22. 3 Numaralı kavşağın sinyalizasyon süreleri

Mevcut durum için gösterilen sinyalizasyon sistem tasarımları diğer tüm alternatifler içinde aynı şekilde yapılmıştır. Bundan sonraki adım olarak sonuçların toplanması için

programda “Nodes” adı verilen sekme kullanılmıştır. Bu sekme sayesinde trafik gecikmeleri, durma gecikmeleri, kuyruk uzunluğu, maksimum kuyruk uzunluğu, taşıt sayısı, yakıt tüketimi, emisyon değerleri gibi performans ölçütlerinin verileri programdan elde edilmektedir. Simülasyona başlamadan önce son olarak, “Travel Time” sekmesi kullanılarak koridorun giriş ve çıkış kısımlarına bu ölçüm aracı konulmuştur. Bu sayede seyahat süresi parametresi hesaplanmaktadır.

Vissim programı ile hem geometrik tasarım hem de sinyalizasyon sistemleri açısından farklı toplam 18 adet alternatif koridor tasarımı yapılmıştır. Bu koridor tasarımları esnasında toplam 7 farklı geometrik tasarım ve 6 farklı sinyalizasyon sistemi kullanılmıştır. Çizelge 4.9’da oluşturulan kavşak tasarımları verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tasarlanan koridor alternatifleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Koridor Tasarımı	Mevcut-Mevcut-Mevcut	Farklı Düzey-Adasız-Webster	Farklı Düzey-Farklı Düzey-Webster	Farklı Düzey-Mevcut-Mevcut	Farklı Sinyal-Adasız-Mevcut	Farklı Sinyal-Adasız-Webster	Farklı Sinyal-Farklı Düzey-Webster	Farklı Sinyal-Round-Webster	Farklı Sinyal-Mevcut-Mevcut
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Koridor Tasarımı	Mevcut-Adasız-Webster	Mevcut-Mevcut-Webster	Mevcut-Round-Webster	Farklı Sinyal-Mevcut-Webster	Mevcut-Adasız-Mevcut	Farklı Düzey-Adasız-Mevcut	Farklı Sinyal-Farklı Düzey-Mevcut	Farklı Düzey-Farklı Düzey-Mevcut	Farklı Düzey-Mevcut-Webster

Kavşak tasarımında kullanılan 7 farklı geometrik durum Şekil 4.23-24-25-26-27-28-29’da verilmiştir.



Şekil 4.23. 1 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı



Şekil 4.24. 1 Numaralı kavşak farklı düzey geometrik tasarımı



Şekil 4.25. 2 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı



Şekil 4.26. 2 Numaralı kavşak farklı düzey geometrik tasarımı



Şekil 4.27. 2 Numaralı kavşak modern dönel geometrik tasarımı

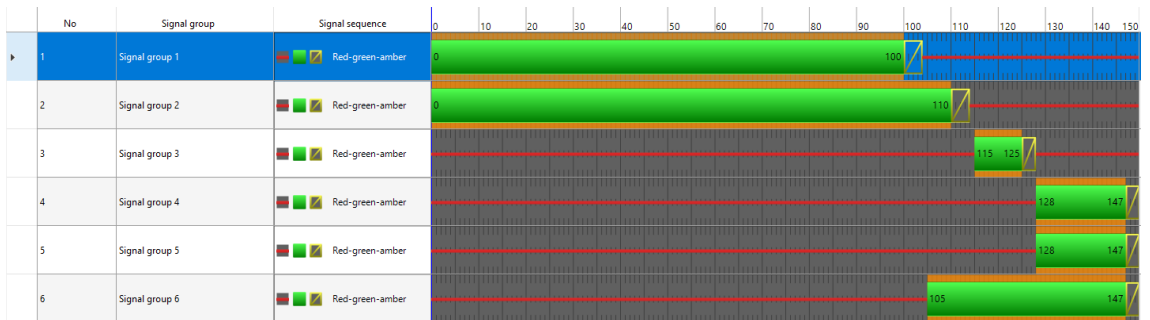


Şekil 4.28. 2 Numaralı kavşak adasız geometrik tasarımı

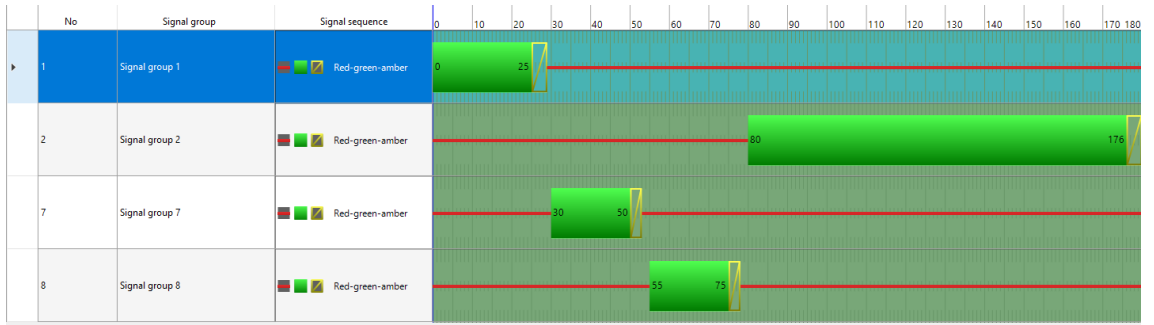


Şekil 4.29. 3 Numaralı kavşak mevcut geometrik tasarımı

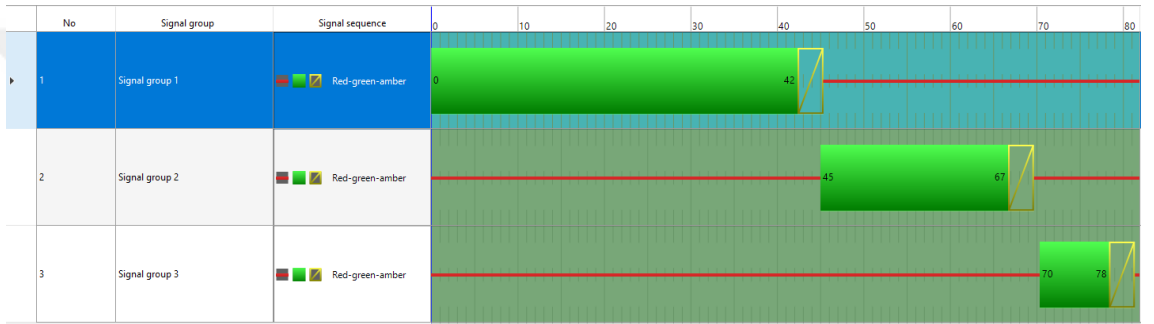
Kavşak tasarımları sırasında toplam 6 farklı sinyalizasyon tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımlar sinyal süreleri ile ilgili çalışmaları kapsamaktadır. Yalnız 3 Numaralı kavşakta Webster metodu kullanılarak sinyalizasyon sistem tasarımı yapılmıştır. Mevcut durum sinyalizasyon sistemlerinin sinyal süreleri Şekil 4.20-21-22’de verilmiştir. Mevcut durumdan farklı olarak tasarlanan sinyalizasyon sistemlerinin sinyal süreleri Şekil 4.30-31-32’de verilmiştir.



Şekil 4.30. 1 Numaralı kavşak alternatif sinyalizasyon tasarımı



Şekil 4.31. 2 Numaralı kavşak alternatif sinyalizasyon tasarımı



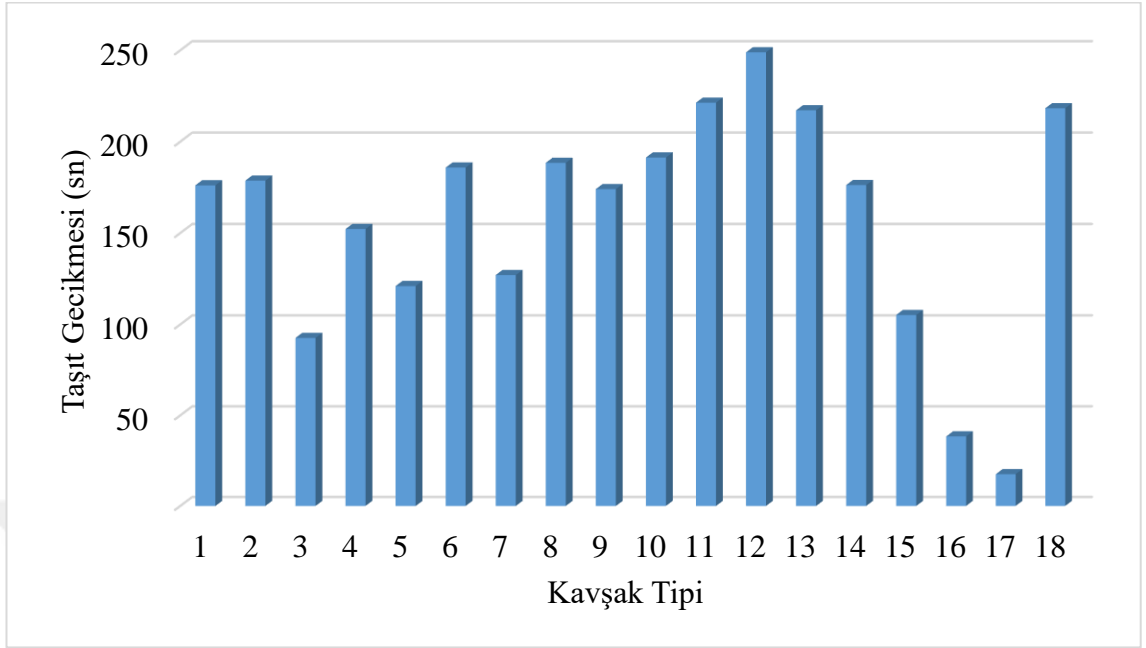
Şekil 4.32. 3 Numaralı kavşak Webster sinyalizasyon tasarımı

4.5.1. Vissim simülasyon sonuçları

Yapılan koridor tasarımları sonucunda belirtilen değerlendirme kriterlerinin performans değerleri Vissim programından çıktı halinde elde edilmiştir. Çizelge 4.10'da taşıt gecikmesi kriteri için koridor performans değerleri sunulmuştur. Şekil 4.33'de ise taşıt gecikme değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.10. Taşıt gecikmesi değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taşıt Gecikmesi (sn)	176,08	178,67	92,58	152,20	120,98	185,81	126,99	188,39	174,01
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Taşıt Gecikmesi (sn)	191,31	221,30	248,87	217,15	176,24	105,14	38,37	17,55	218,28

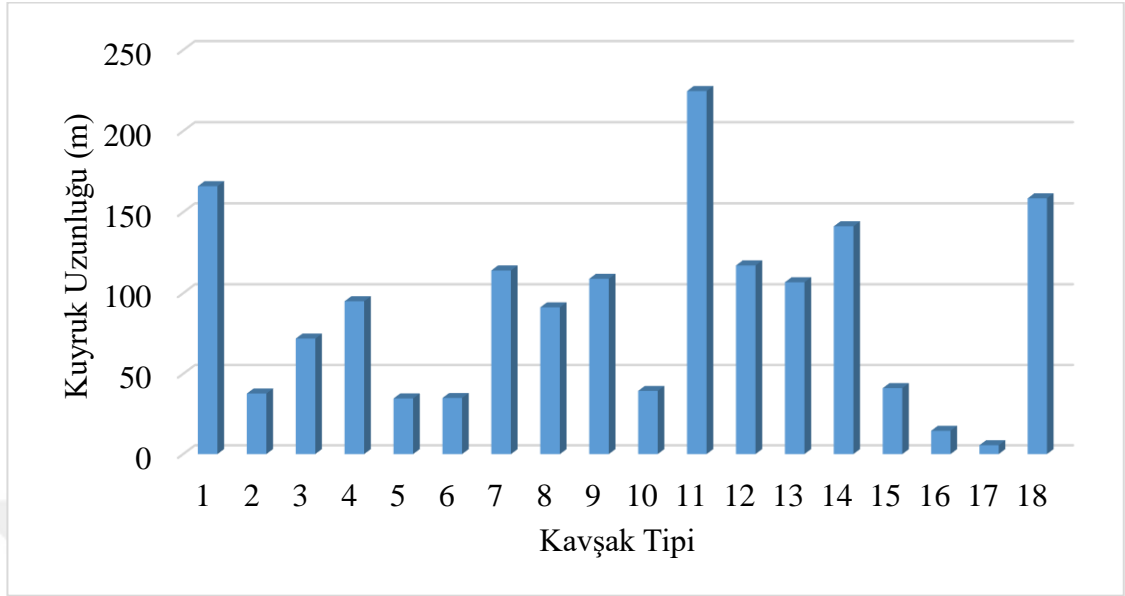


Şekil 4.33. Taşıt gecikme değerleri

Taşıt gecikmeleri değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 12 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.11’de kuyruk uzunluğu kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.34’de ise kuyruk uzunluğu değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kuyruk uzunluğu değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kuyruk Uzunluğu (m)	166	37,7	71,9	94,99	34,64	34,91	113,99	91,22	108,8
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Kuyruk Uzunluğu (m)	39,32	224,6	117,1	106,7	141,2	41,06	14,51	5,52	158,5

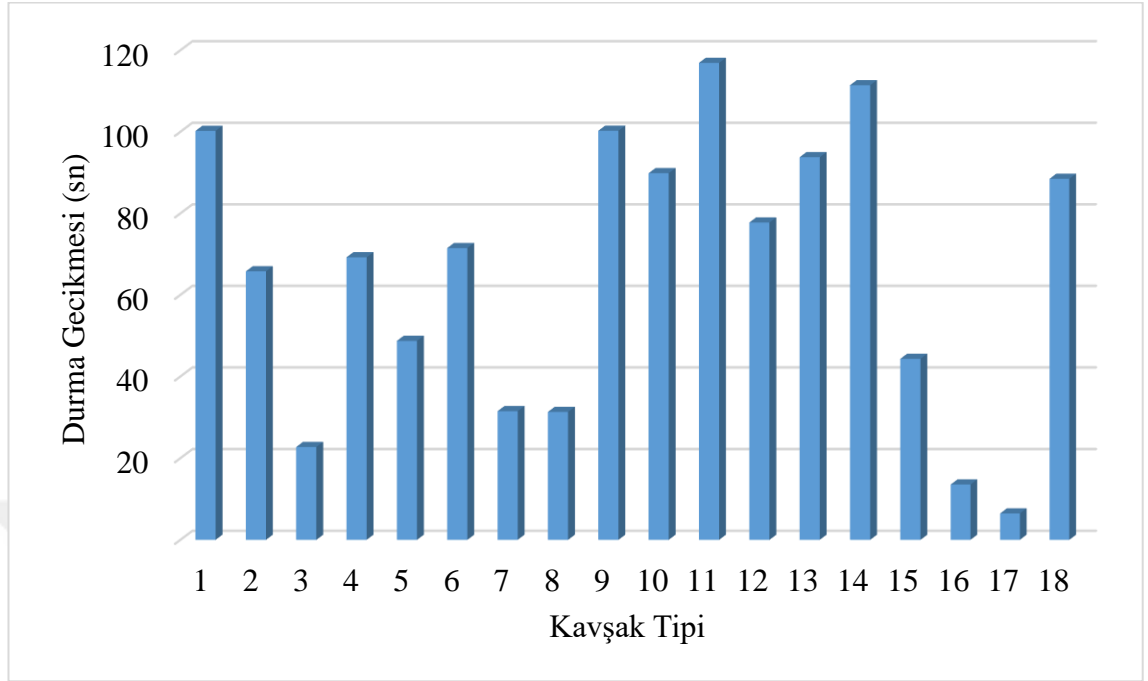


Şekil 4.34. Kuyruk uzunluğu değerleri

Kuyruk uzunluğu değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 11 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.12’de durma gecikmesi kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.35’de ise durma gecikmesi değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.12. Durma gecikmesi değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durma Gecikmesi (sn)	100,24	65,79	22,73	69,23	48,72	71,48	31,51	31,31	100,26
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Durma Gecikmesi (sn)	89,85	116,91	77,75	93,77	111,42	44,32	13,55	6,47	88,47

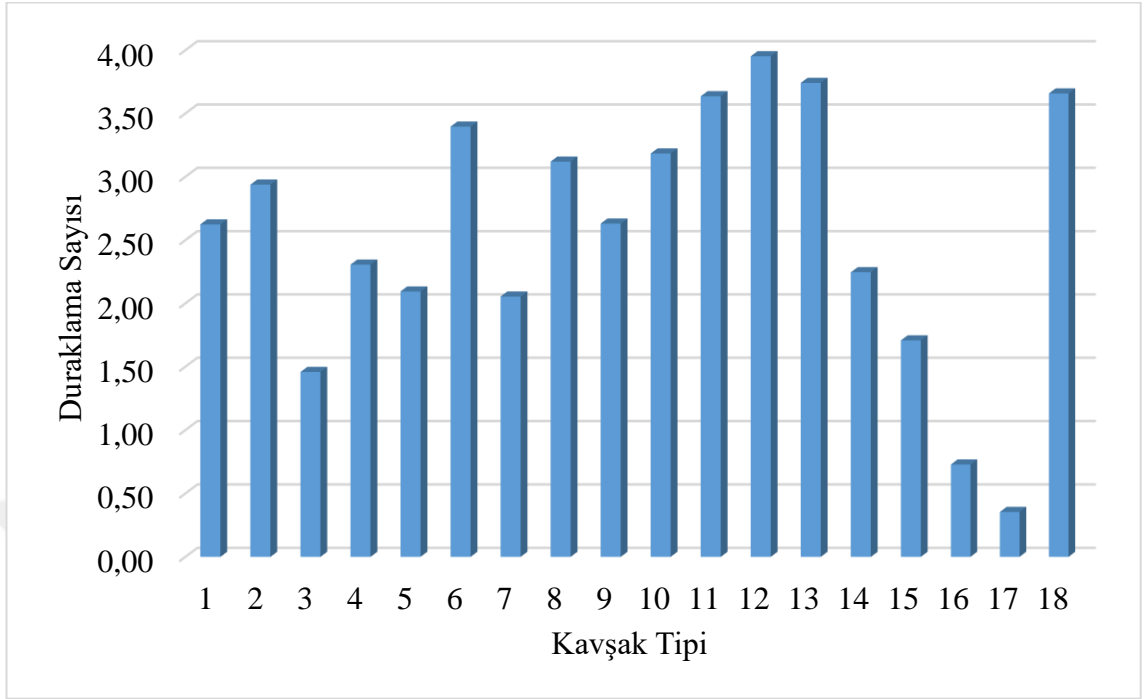


Şekil 4.35. Durma gecikmesi değerleri

Kuyruk uzunluğu değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 11 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.13’de duraklama sayısı kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.36’da ise duraklama sayısı değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.13. Duraklama sayısı değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Duraklama Sayısı	2,62	2,94	1,46	2,31	2,09	3,40	2,05	3,12	2,63
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Duraklama Sayısı	3,18	3,64	3,95	3,74	2,25	1,71	0,73	0,35	3,66

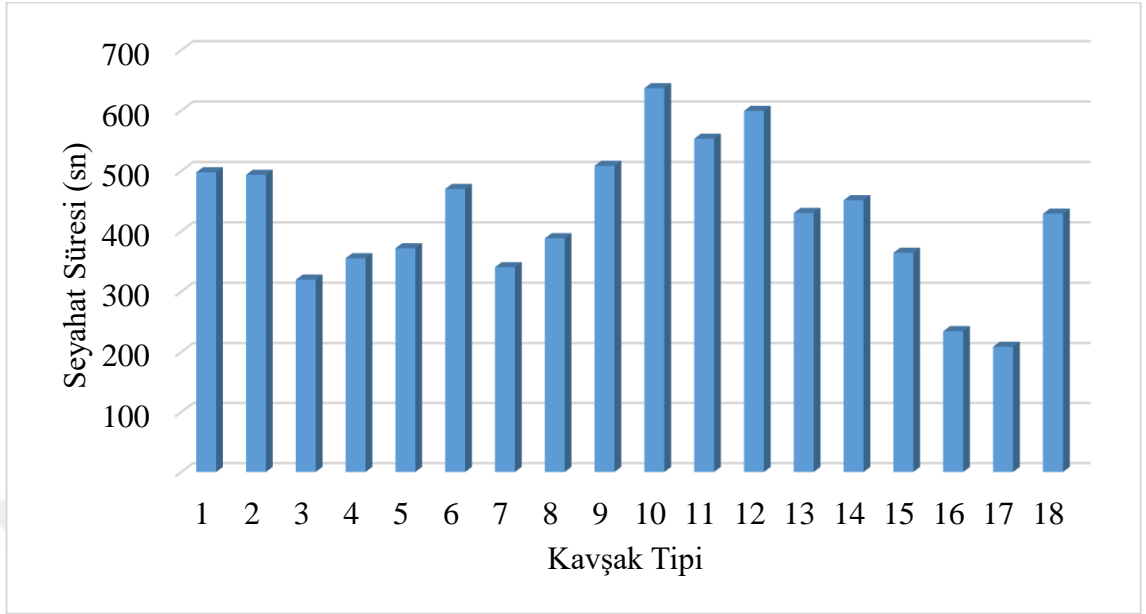


Şekil 4.36. Duraklama sayısı değerleri

Duraklama sayısı değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 12 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.14’de seyahat süresi kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.37’de ise seyahat süresi değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.14. Seyahat süresi değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Seyahat Süresi (sn)	497,78	493,51	320,00	355,41	371,88	470,19	340,51	388,48	508,53
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Seyahat Süresi (sn)	636,99	553,33	599,46	430,38	451,42	364,47	234,55	208,71	429,17

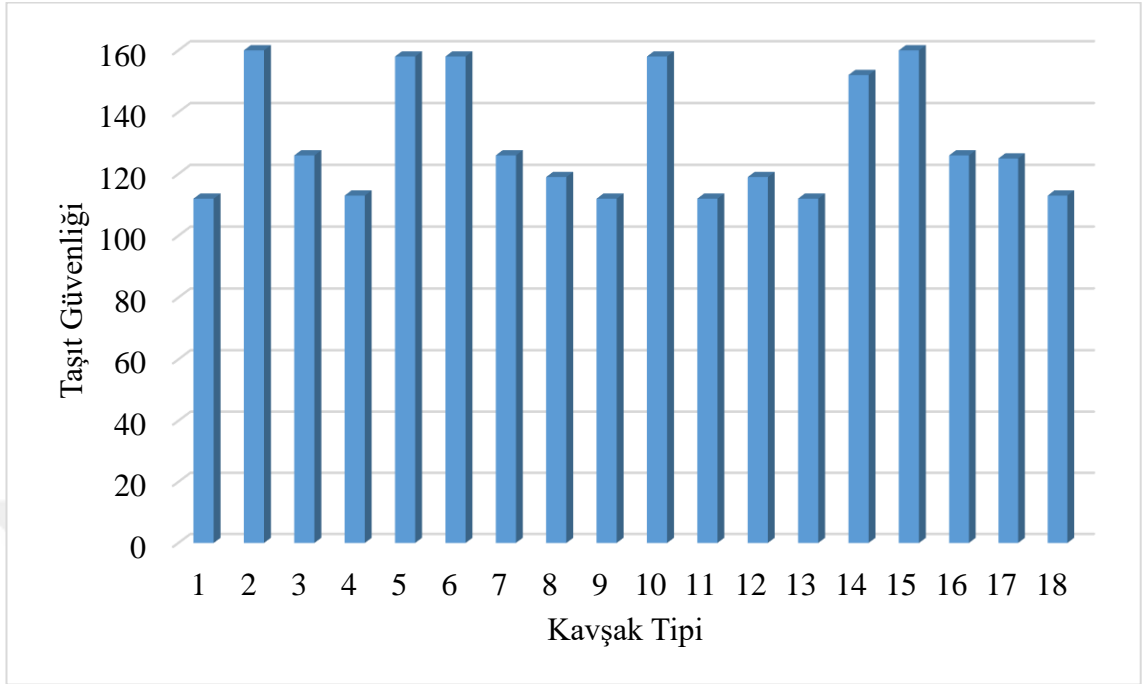


Şekil 4.37. Seyahat süresi değerleri

Seyahat süresi değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 10 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.15’de taşıt güvenliği kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.38’de ise taşıt güvenliği değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.15. Taşıt güvenliği değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taşıt Güvenliği	112	160	126	113	158	158	126	119	112
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Taşıt Güvenliği	158	112	119	112	152	160	126	125	113

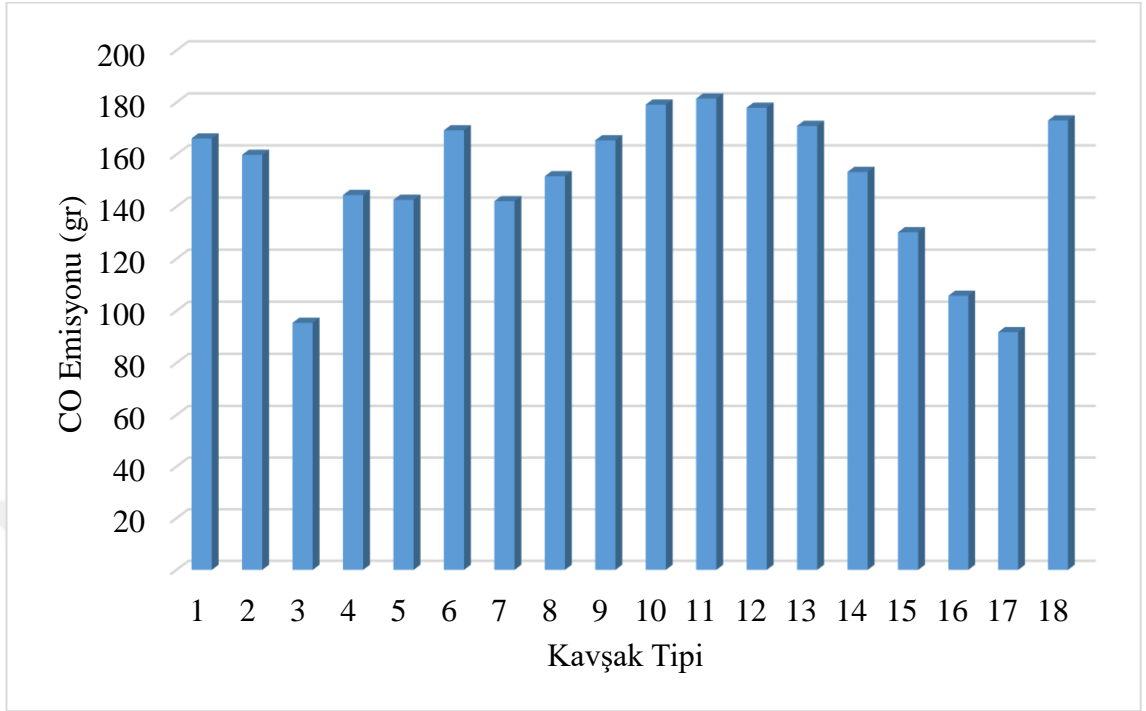


Şekil 4.38. Taşıt güvenliği değerleri

Taşıt güvenliği değerleri incelendiğinde 1-9-11-13 Numaralı alternatifler en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 2-15 Numaralı alternatifleri en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.16’de CO emisyonu kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.39’da ise CO emisyonu değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.16. CO emisyonu değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CO Emisyon (gr)	166,17	159,90	95,41	144,47	142,62	169,31	142,09	151,65	165,46
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CO Emisyon (gr)	179,17	181,48	177,96	171,00	153,32	130,17	105,80	91,82	173,10

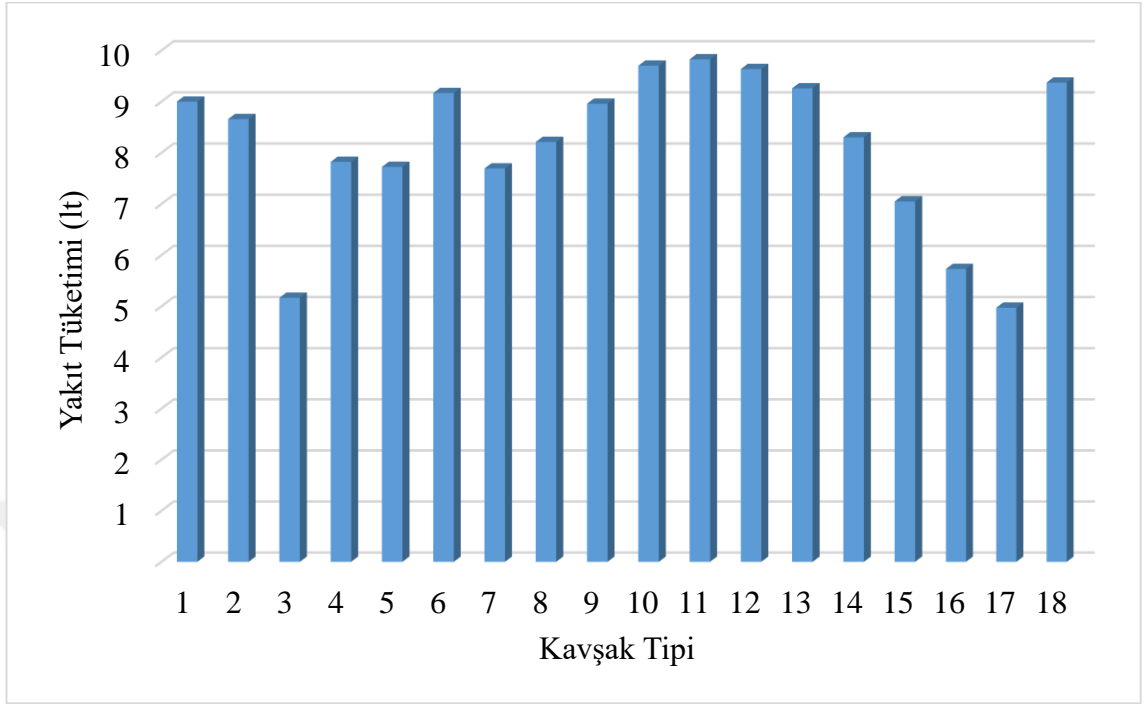


Şekil 4.39. CO emisyon değerleri

CO emisyonu değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 11 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.17’de yakıt tüketimi kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.40’da ise yakıt tüketimi değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.17.Yakıt tüketimi değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yakıt Tüketimi (lt)	9,00	8,66	5,17	7,82	7,72	9,17	7,69	8,21	8,96
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Yakıt Tüketimi (lt)	9,70	9,83	9,64	9,26	8,30	7,05	5,73	4,97	9,37

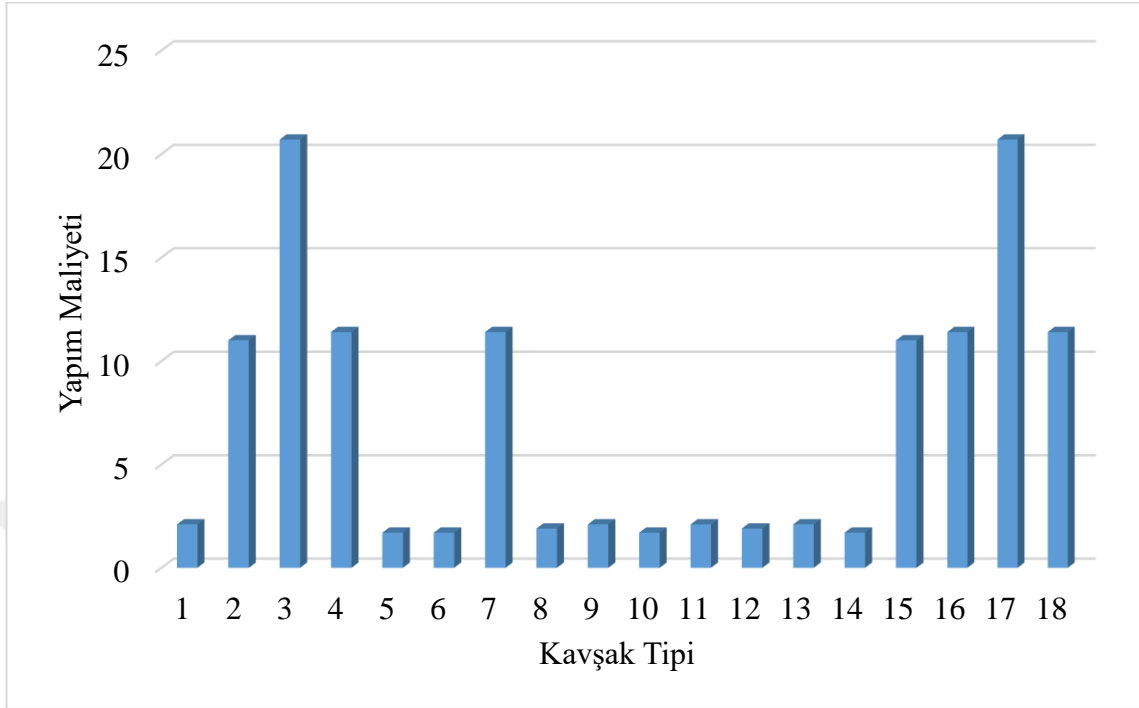


Şekil 4.40. Yakıt tüketimi değerleri

Yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde 17 Numaralı alternatifin en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 11 Numaralı alternatifin en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.18’de yapım maliyeti kriteri ile ilgili performans değerleri verilmiştir. Şekil 4.41’de ise yapım maliyeti değerlerinin grafik gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4.17.Yapım maliyeti değerleri

Alternatif	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yapım Maliyeti	2,1	11	20,7	11,4	1,7	1,7	11,4	1,9	2,1
Alternatif	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Yapım Maliyeti	1,7	2,1	1,9	2,1	1,7	11	11,4	20,7	11,4



Şekil 4.41. Yapım maliyeti değerleri

Yapım maliyeti değerleri incelendiğinde 5-6-10-14 Numaralı alternatifler en iyi performans değerine sahip olduğu görülürken 3-17 Numaralı alternatifleri en kötü performans değerine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 4.18’de alternatiflerin değerlendirme kriterlerine göre genel performans değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.18. Alternatiflerin genel performans değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi (sn)	Kuyruk Uzunluğu (m)	Durma Gecikmesi (sn)	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi (sn)	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon (gr)	Yakıt Tüketimi (lt)	Yapım Maliyeti
1	176,08	165,98	100,24	2,62	497,78	112	166,17	9,00	2,1
2	178,67	37,7	65,79	2,94	493,51	160	159,90	8,66	11
3	92,58	71,9	22,73	1,46	320,00	126	95,41	5,17	20,7
4	152,20	94,99	69,23	2,31	355,41	113	144,47	7,82	11,4
5	120,98	34,64	48,72	2,09	371,88	158	142,62	7,72	1,7
6	185,81	34,91	71,48	3,40	470,19	158	169,31	9,17	1,7
7	126,99	113,99	31,51	2,05	340,51	126	142,09	7,69	11,4

Elde edilen performans değerleri ile oluşturulan başlangıç matrisi izelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. TOPSIS başlangıç matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Suresi	Taşıt Gvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
1	176,08	165,98	100,24	2,62	497,78	112	166,17	9,00	2,1
2	178,67	37,7	65,79	2,94	493,51	160	159,90	8,66	11
3	92,58	71,9	22,73	1,46	320,00	126	95,41	5,17	20,7
4	152,20	94,99	69,23	2,31	355,41	113	144,47	7,82	11,4
5	120,98	34,64	48,72	2,09	371,88	158	142,62	7,72	1,7
6	185,81	34,91	71,48	3,40	470,19	158	169,31	9,17	1,7
7	126,99	113,99	31,51	2,05	340,51	126	142,09	7,69	11,4
8	188,39	91,22	31,31	3,12	388,48	119	151,65	8,21	1,9
9	174,01	108,83	100,26	2,63	508,53	112	165,46	8,96	2,1
10	191,31	39,32	89,85	3,18	636,99	158	179,17	9,70	1,7
11	221,30	224,64	116,91	3,64	553,33	112	181,48	9,83	2,1
12	248,87	117,1	77,75	3,95	599,46	119	177,96	9,64	1,9
13	217,15	106,69	93,77	3,74	430,38	112	171,00	9,26	2,1
14	176,24	141,24	111,42	2,25	451,42	152	153,32	8,30	1,7
15	105,14	41,06	44,32	1,71	364,47	160	130,17	7,05	11
16	38,37	14,51	13,55	0,73	234,55	126	105,80	5,73	11,4
17	17,55	5,52	6,47	0,35	208,71	125	91,82	4,97	20,7
18	218,28	158,5	88,47	3,66	429,17	113	173,10	9,37	11,4
Karekık	715,49	450,38	313,37	11,61	1865,67	562,57	647,08	35,04	40,68

Elde edilen başlangıç matrisinin bütın elemanlarının kendi aralarında tutarlılığını sağlamak için standart (normalize) karar matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.21’de normalize matris verilmiştir.

Çizelge 4.21. Normalize edilmiş karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
1	0,246	0,369	0,320	0,226	0,267	0,199	0,257	0,257	0,052
2	0,250	0,084	0,210	0,253	0,265	0,284	0,247	0,247	0,270
3	0,129	0,160	0,073	0,126	0,172	0,224	0,147	0,147	0,509
4	0,213	0,211	0,221	0,199	0,190	0,201	0,223	0,223	0,280
5	0,169	0,077	0,155	0,180	0,199	0,281	0,220	0,220	0,042
6	0,260	0,078	0,228	0,293	0,252	0,281	0,262	0,262	0,042
7	0,177	0,253	0,101	0,177	0,183	0,224	0,220	0,220	0,280
8	0,263	0,203	0,100	0,269	0,208	0,212	0,234	0,234	0,047
9	0,243	0,242	0,320	0,227	0,273	0,199	0,256	0,256	0,052
10	0,267	0,087	0,287	0,274	0,341	0,281	0,277	0,277	0,042
11	0,309	0,499	0,373	0,313	0,297	0,199	0,280	0,280	0,052
12	0,348	0,260	0,248	0,340	0,321	0,212	0,275	0,275	0,047
13	0,303	0,237	0,299	0,322	0,231	0,199	0,264	0,264	0,052
14	0,246	0,314	0,356	0,194	0,242	0,270	0,237	0,237	0,042
15	0,147	0,091	0,141	0,147	0,195	0,284	0,201	0,201	0,270
16	0,054	0,032	0,043	0,063	0,126	0,224	0,164	0,164	0,280
17	0,025	0,012	0,021	0,030	0,112	0,222	0,142	0,142	0,509
18	0,305	0,352	0,282	0,315	0,230	0,201	0,268	0,267	0,280

Normalize edilen karar matrisi ile değerlendirme kriterlerinin çarpımı sonucu elde edilen ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.22’de ağırlıklı standart karar matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.22. Ağırlıklı standart karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
1	0,017	0,025	0,006	0,003	0,010	0,014	0,008	0,009	0,002
2	0,017	0,006	0,004	0,003	0,010	0,020	0,008	0,009	0,011
3	0,009	0,011	0,001	0,002	0,006	0,016	0,005	0,005	0,021
4	0,014	0,014	0,004	0,002	0,007	0,014	0,007	0,008	0,011
5	0,011	0,005	0,003	0,002	0,007	0,020	0,007	0,008	0,002
6	0,018	0,005	0,004	0,004	0,009	0,020	0,008	0,010	0,002
7	0,012	0,017	0,002	0,002	0,007	0,016	0,007	0,008	0,011
8	0,018	0,014	0,002	0,003	0,008	0,015	0,007	0,009	0,002
9	0,016	0,016	0,006	0,003	0,010	0,014	0,008	0,009	0,002
10	0,018	0,006	0,005	0,003	0,013	0,020	0,009	0,010	0,002
11	0,021	0,034	0,007	0,004	0,011	0,014	0,009	0,010	0,002
12	0,024	0,018	0,005	0,004	0,012	0,015	0,009	0,010	0,002
13	0,021	0,016	0,005	0,004	0,009	0,014	0,008	0,010	0,002
14	0,017	0,021	0,007	0,002	0,009	0,019	0,008	0,009	0,002
15	0,010	0,006	0,003	0,002	0,007	0,020	0,006	0,007	0,011
16	0,004	0,002	0,001	0,001	0,005	0,016	0,005	0,006	0,011
17	0,002	0,001	0,000	0,000	0,004	0,016	0,005	0,005	0,021
18	0,021	0,024	0,005	0,004	0,009	0,014	0,009	0,010	0,011

Değerlendirme kriterlerinin PİÇ ve NİÇ kümeleri, kriterlerin fayda ve maliyet yönlü tutumlarına göre pozitif ve negatif ideal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çizelge 4.23’de pozitif ve negatif ideal çözüm kümesi verilmiştir.

Çizelge 4.23. Pozitif ve negatif ideal çözüm kümesi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
A*	0,002	0,001	0,000	0,000	0,004	0,014	0,005	0,005	0,002
A-	0,024	0,034	0,007	0,004	0,013	0,020	0,009	0,010	0,021

Pozitif ve negatif ideal çözüm kümesi kullanılarak pozitif ve negatif ideal ayırım ölçütleri matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.24 ve 4.25’de sırasıyla pozitif ve negatif ideal ayırım ölçütleri matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.24. Pozitif ideal ayırım ölçütleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
1	0,226	0,584	0,030	0,005	0,033	0,000	0,013	0,018	0,000
2	0,233	0,023	0,012	0,007	0,032	0,037	0,011	0,015	0,088
3	0,051	0,100	0,001	0,001	0,005	0,003	0,000	0,000	0,367
4	0,163	0,182	0,014	0,004	0,009	0,000	0,007	0,009	0,096
5	0,096	0,019	0,006	0,003	0,011	0,034	0,006	0,008	0,000
6	0,255	0,020	0,015	0,010	0,027	0,034	0,015	0,019	0,000
7	0,108	0,267	0,002	0,003	0,007	0,003	0,006	0,008	0,096
8	0,262	0,167	0,002	0,008	0,013	0,001	0,009	0,011	0,000
9	0,220	0,242	0,030	0,006	0,036	0,000	0,013	0,017	0,000
10	0,271	0,026	0,024	0,009	0,073	0,034	0,019	0,024	0,000
11	0,373	1,089	0,042	0,011	0,047	0,000	0,020	0,025	0,000
12	0,481	0,282	0,017	0,014	0,061	0,001	0,018	0,024	0,000
13	0,358	0,232	0,026	0,012	0,020	0,000	0,015	0,020	0,000
14	0,226	0,418	0,038	0,004	0,023	0,026	0,009	0,012	0,000
15	0,069	0,029	0,005	0,002	0,010	0,037	0,004	0,005	0,088
16	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,096
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,367
18	0,362	0,531	0,023	0,012	0,019	0,000	0,016	0,021	0,096

Çizelge 4.25. Negatif ideal ayırım ölçütleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	Taşıt Gecikmesi	Kuyruk Uzunluğu	Durma Gecikmesi	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi	Taşıt Güvenliği	CO Emisyon	Yakıt Tüketimi	Yapım Maliyeti
1	0,048	0,078	0,001	0,002	0,008	0,037	0,001	0,001	0,351
2	0,044	0,793	0,009	0,001	0,008	0,000	0,001	0,001	0,096
3	0,220	0,529	0,031	0,007	0,040	0,018	0,018	0,023	0,000
4	0,084	0,381	0,008	0,003	0,031	0,035	0,003	0,004	0,088
5	0,147	0,819	0,016	0,004	0,028	0,000	0,004	0,005	0,367
6	0,036	0,817	0,007	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,367
7	0,134	0,278	0,025	0,004	0,035	0,018	0,004	0,005	0,088
8	0,033	0,404	0,025	0,001	0,025	0,027	0,002	0,003	0,359
9	0,050	0,304	0,001	0,002	0,007	0,037	0,001	0,001	0,351
10	0,030	0,779	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367
11	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003	0,037	0,000	0,000	0,351
12	0,000	0,262	0,005	0,000	0,001	0,027	0,000	0,000	0,359
13	0,009	0,316	0,002	0,000	0,017	0,037	0,000	0,000	0,351
14	0,047	0,158	0,000	0,003	0,014	0,001	0,002	0,003	0,367
15	0,186	0,765	0,018	0,005	0,029	0,000	0,006	0,008	0,096
16	0,398	1,002	0,037	0,011	0,064	0,018	0,014	0,018	0,088
17	0,481	1,089	0,042	0,014	0,073	0,020	0,020	0,025	0,000
18	0,008	0,099	0,003	0,000	0,017	0,035	0,000	0,000	0,088

Pozitif ve negatif ideal ayırım ölçütleri kullanılarak ayırım ölçütleri ve sıralama tablosu oluşturulmuştur. Çizelge 4.26'da ayırım ölçütleri ve sıralama tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.26. Ayrı ölçütleri ve sıralama

Alternatif	S_i^*	Alternatif	S_i^-	Alternatif	C_i^*	Alternatif	C_i^-
1	0,954	1	0,725	1	0,568	1	0,432
2	0,677	2	0,976	2	0,410	2	0,590
3	0,726	3	0,941	3	0,436	3	0,564
4	0,694	4	0,799	4	0,465	4	0,535
5	0,429	5	1,178	5	0,267	5	0,733
6	0,627	6	1,113	6	0,360	6	0,640
7	0,707	7	0,768	7	0,479	7	0,521
8	0,688	8	0,937	8	0,423	8	0,577
9	0,751	9	0,868	9	0,464	9	0,536
10	0,692	10	1,086	10	0,389	10	0,611
11	1,268	11	0,631	11	0,668	11	0,332
12	0,947	12	0,809	12	0,540	12	0,460
13	0,827	13	0,856	13	0,491	13	0,509
14	0,870	14	0,771	14	0,530	14	0,470
15	0,497	15	1,055	15	0,320	15	0,680
16	0,326	16	1,285	16	0,202	16	0,798
17	0,608	17	1,328	17	0,314	17	0,686
18	1,039	18	0,501	18	0,675	18	0,325

Sıralama işlemi C_i^* parametresini küçükten büyüğe doğru sıralayarak veya C_i^- parametresini büyükten küçüğe doğru sıralayarak yapılmaktadır. Koridor alternatiflerinin sıralama tablosu Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Alternatiflerin sıralaması

Sıralama	Alternatif	C_i^*	Alternatif	C_i^-	Sıralama	Alternatif	C_i^*	Alternatif	C_i^-
1	16	0,202	16	0,798	10	9	0,464	9	0,536
2	5	0,267	5	0,733	11	4	0,465	4	0,535
3	17	0,314	17	0,686	12	7	0,479	7	0,521
4	15	0,320	15	0,680	13	13	0,491	13	0,509
5	6	0,360	6	0,640	14	14	0,530	14	0,470
6	10	0,389	10	0,611	15	12	0,540	12	0,460
7	2	0,410	2	0,590	16	1	0,568	1	0,432
8	8	0,423	8	0,577	17	11	0,668	11	0,332
9	3	0,436	3	0,564	18	18	0,675	18	0,325

Çizelge 4.27 incelendiğinde 16 Numaralı alternatifin performans sıralamasına göre en iyi değere sahip olduğu görülmektedir. En kötü alternatif ise 18 Numaralı alternatif olarak gözlemlenmektedir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Kavşak tasarımlarını etkileyen kriterler; literatür taraması, yazar ve uzman görüşlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Belirlenen değerlendirme kriteri sayısı 9 adettir. Belirlenen kriterlerin önem derecelerini belirlemek için ÇKKV yöntemlerinden olan AHP kullanılmıştır. AHP yönteminde karar verme takımı kurularak kriterlerin ağırlıkları analiz edilmiştir. Analiz sonucunda en önemli kriterin K6 olan “Taşıt Güvenliği” olduğu görülmüştür. Önem derecesi en az olan kriterin K4 olan “Duraklama Sayısı” olduğu gözlemlenmiştir.

Trafik hacim değerleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi-Ulaştırma Daire Başkanlığı tarafından yapılan sayımlar neticesinde elde edilmiştir. Bu trafik hacim değerleri göz önüne alınarak mevcut ve diğer alternatiflerin geometrik ve sinyalizasyon sistemlerinin tasarımları PTV Vissim programı aracılığıyla yapılmıştır. Vissim programı ve uzman görüşlerinden elde edilen değerlendirme kriterlerinin performans değerleri ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSIS ile sıralandırılmıştır.

TOPSIS sıralamasına göre 1 Numaralı kavşakta sinyalizasyon sürelerinde değişiklik yapılması, 2 Numaralı kavşağın farklı düzey olarak tasarlanması ve 3 Numaralı kavşağın mevcut durumu korunması ile oluşturulan 16 Numaralı koridor alternatifinin en iyi koridor tasarımı olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut duruma alternatif olarak bir tasarım yapılması durumunda değerlendirme kriterleri göz önüne alınarak en iyi alternatif koridorun 16 Numaralı koridor olduğu görülmektedir. Yapılan TOPSIS sıralandırmasına göre mevcut durumun neredeyse en kötü koridor tasarımı olduğu açıkça ortadadır. Mevcut durumda; 1 ve 3 Numaralı kavşakta herhangi bir ada tasarımı bulunmazken, 2 Numaralı kavşak adalı geometrik tasarıma sahiptir. Özellikle 2 Numaralı kavşağın çalışma performansının koridor trafik durumunu oldukça olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

Mevcut ve en iyi alternatif koridorun performans değerlerine göre karşılaştırılması sonucunda iyileştirme değerleri izelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Mevcut ve en iyi alternatifin karşılaştırması

	Taşıt Gecikmesi (sn)	Kuyruk Uzunluğu (m)	Durma Gecikmesi (sn)	Duraklama Sayısı	Seyahat Süresi (sn)	Taşıt Güvenliği	CO Emisyonu (gr)	Yakıt Tüketimi (lt)	Yapım Maliyeti
16 numaralı koridor	38,37	14,51	13,55	0,73	234,55	126	105,80	5,73	11,4
Mevcut	176,08	165,98	100,24	2,62	497,78	112	166,17	9,00	2,1

16 Numaralı koridor alternatifi ile mevcut durum koridorunun performans değerleri karşılaştırıldığında mevcut duruma göre değerlendirme kriterlerinin 7 tanesinde en az %36 ve en fazla %91’lik bir iyileştirme yapılabilir. Buna göre mevcut tasarımın yapım maliyeti ve taşıt güvenliği değerlendirme kriterleri açısından en iyi alternatifin koridorundan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Yerel yöneticiler tarafından Vatan Caddesi koridoru üzerinde yapılacak herhangi bir düzenleme durumunda bu tez çalışmasında yapılan değerlendirmelerin dikkate alınması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında kavşak ve koridor tasarımı yapılırken yaya hareketliliğinin göz önüne alınmaması bu çalışmanın en büyük eksik yanısı olarak ifade edilmektedir. İleride ki çalışmalarda yaya hareketliliği de dikkate alınarak koridor tasarımlarının yapılması mümkündür.

KAYNAKLAR

- Abret, N.E., 2016. Koridor Analizi ve İyileştirme Önerileri Üzerine Bir Çalışma: Atatürk Üniversitesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Acar, M., 2009. Trafik Kaza Tutanaklarının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye.
- Aksoy, M., 2011. Kentiçi Sinyalize Kavşaklarda Adaptif Kontrol Sistemi ile Geleneksel Kontrol Sisteminin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Al-Arkawazi, S.A.F., 2018. Measuring the Influences and Impacts of Signalized Intersection Delay Reduction on the Fuel Consumption, Operation Cost and Exhaust Emissions. *Civil Engineering Journal-Tehran*, 4(3), 552-571.
- Alçelik, N., 2010. Kentiçi Sinyalize ve Dönel kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Anonim, 2014. Çubuk, M.K., II. Ulaşım ve Trafik Kongresi- Sergisi, IV. Oturum, Köprülü Kavşak Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11153.pdf> (26.05.2019)
- Atalay, A. 2004. Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Tahmininde Yapay Zekâ Yöntemi ile Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Baric. D., Pilko, H. and Strujic. J., 2016. An Analytic Hierarchy Process Model to Evaluate Road Section Design. *Transport*, 31(3), 312-321.
- Başa, H., 2016. Kavşak Nedir ? trafik.net.tr, <https://trafik.net.tr/kavsak-nedir/> (28.06.2019)
- Bing, X., Wei, Q., Lu, J., Li, C. and Zhang, Y., 2018. Sustainable Highway Design: Disentangling the Effects of Geometric-Related and Traffic-Related Factors on Urban Highway Traffic Emissions. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2018, Article: 7514612, 1-10
- Culum, C., 2013. Trafik Sinyal Sürelerinin Optimizasyonu ve Çevre Kirliliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Çakıcı, Z. ve Murat, Y., 2016. Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi. *Teknik Dergi*, 27 (4), 7569-7592.
- Çakıcı, Z., 2014. Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Dündar, S., 2018. İstanbul'daki Işıklı kavşaklardaki Doygun Akım Değerini Etkileyen Geometrik Değişkenlerin İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Türkiye.
- Erol, D., 2018. Kentiçi Işıklı ve Dönel kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.

- Göktan, B., 2018. Türkiye Karayolu Ağında Kullanılan Hemzemin Kavşaklar ile Farklı Seviyeli Kavşakların Karşılaştırılması ve Başpınar Kavşağı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. and Srinivasan, R., 2013. Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersection to Roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 234-241.
- Guerrieri, M., Corriere, F., Casto, B.L. and Rizzo, G., 2015. A Model for Evaluating the Environmental and Functional Benefits of “Innovative” Roundabouts. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.39, 1-16.
- Güldamlaşı, G., 2007. Tek Yön Sistemlerinin Çift Yöne Dönüştürülmesinin Sonuçları ve Performans Analizleri Üzerine Araştırma (Balıkesir ve İzmir Örnekleri). Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye.
- Gündoğan, F., Karagöz, Z., Koçyiğit, N., Karadağ, A., Ceylan, H., Murat, Y.Ş., 2014. An Evaluation of Adaptive Traffic Control System in İstanbul, Turkey. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 2(3), 198-201.
- Hacıoğlu, F., 2017. Multi Agent Intersection Management Considering Energy Consumption. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Hamurcu, M. ve Eren, T., 2017. Raylı Sistem Projeleri Kararında Ahs-Hp ve Aas-Hp Kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 3 (3), 1-13.
- Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making Methods and Application, A State-of-the-Art Survey, Berlin, Heidelberg, New York.
- İnançlı, M., 2012. Dönel Kavşakların Güvenliği ve Konya’daki Bazı Kavşakların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Karashahin, M., 2014. Trafik Sinyalizasyonu Ders Notları. <https://docplayer.biz.tr/8158561-Trafik-sinyalizasyonu-prof-dr-mustafa-karashahin.html> (05.06.2019)
- KGM, 2000. Karayolu Tasarım Raporu: Kavşak Tipi Seçimi ile İlgili Önerilen Esaslar. 15s, Ankara, Türkiye.
- KGM. 2005. Karayolu Tasarım El Kitabı, 297s, Ankara.
- Kılıç Delice, E., 2016. Havayolu Firmaları Seçimi İçin Bulanık Çok Kriterli Bir Model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (2), 263-276.
- Koç H., 2010. Eşdüze Kavşaklardan Katlı Kavşaklara Geçiş Örnekleri ve Uygunluklarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Korkmaz, E., (2016). Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modelleri. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.
- Krishna, K.H., Kumar, K.V. and Rao, H., 2018. Signal Design Using Webster’s Method. *Indian Journal of Scientific Research*, 17 (2), 113-119.
- Li, Z., Chitturi, M.V., Yu, L., Bill, A.R. and Noyce, D.A., 2015. Sustainability Effects of Next-Generation Intersection Control for Autonomous Vehicles. *Transport*, 30(3), 342-352.
- Mandavilli, S., Rys, M.J., Russell E.R., 2008. Environmental Impact of Modern Roundabouts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.38, 135-142.

- Murat, Y. S., Arslan, T., Cakici, Z., and Akçam, C., 2016. Analytical Hierarchy Process (AHP) Based Decision Support System for Urban Intersections in Transportation Planning. Using Decision Support Systems for Transportation Planning Efficiency, Ed: E. Ocalir-Akunal, Hershey, PA: IGI Global, pp. 203-222.
- Murat, Y.Ş., 1996. Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Murat, Y.Ş., 2012. Trafik Mühendisliği Ders Notları. Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
- NCHRP, 2003. National Cooperative Highway Research Program Report 279: Intersection Channelization Design Guide. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, USA.
- Özbek, A., 2017. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü. Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, 336s, Ankara, Türkiye.
- Özdemir, Y.E., 2018. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) Nedir ? <https://medium.com/@ozdemir.y.emre/ahp-analitik-hiyerar%C5%9Fi-prosesi-nedir-b499273e3123> (02.05.2019)
- Özge, K.V., 2010. Kavşak İyileştirme Seçeneklerinin Simülasyon Tekniğiyle Değerlendirilmesi: İstanbul Cendere Yolu Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Rahimov, K., Motamadnia, A. and Samadi, S., 2016. Technical and Economic Evaluation of Pinavia Interchange in Comparison with Roundabout Intersection by AIMSUN. Civil Engineering Journal-Tehran, 2(3), 102-112.
- Saaty, T.L., 2008. Decision Making With The Analytic Hierarchy Process. International Journal Services Science, 1, 83-86.
- Saplıoğlu, M. and Aydın, M.M., 2018. Choosing Safe and Suitable Bicycle Routes to Integrate Cycling and Public Transport Systems. Journal of Transport & Health, Vol. 10, 236-252.
- Şengül, Ü., Eren, M. ve Eslamian, S., 2015. Bulanık AHP ile Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 40, 143-165.
- Tekin Karagöz, G., 2018. Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Tunç, A., 2013. Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, 790s Ankara, Türkiye.
- Uludamar, E. ve Tüccar, G., 2018. Döner Kavşaklarda Farklı Sinyalizasyon Zamanlamasındaki Trafik Yoğunluğunun Karşılaştırılması. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (1), 217-223.
- Yayla, N., 2015. Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- Zheng, J., 2008. Measuring Signalized Intersection Performances with Traffic Sensors. MS Thesis, University of Washington, Washington, United States.

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzurum'da tamamladı. 2017 yılında Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2017 yılı Temmuz ayında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2019 yılı Temmuz ayında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2018 yılı Mart ayından itibaren Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen daha bu görevini sürdürmektedir.